

ВЕСТНИК

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

Научно-технический журнал



Кемерово

2-2019

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

№ 2-2019

Выходит 4 раза в год

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

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН

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

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

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН

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

Учредитель и издатель

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

Адрес учредителя и издателя:

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

Адрес редакции:

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

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

Компьютерная верстка *Д. А. Трубицына*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh_mv@mail.ru

dtrubitsyna@gmail.com

www.ind-saf.ru

Позиция редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

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

16+

© **ООО «ВостЭКО», 2019**

Адрес типографии:

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

Главный редактор: Н. В. Трубицына

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

А. В. Шадрин – 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

2 - 2019

INDUSTRIAL SAFETY

ISSN 2072-6554

№ 2-2019

Is issued 4 times a year

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

MAGAZINE IS REGISTERED

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

THE MAGAZINE IS INCLUDED

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

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

Address of the promoter and publisher:

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

Address of the editors:

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

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

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

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

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

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

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

16+

© Co Ltd «VostEKO», 2019

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

Chief editor: N. V. Trubitsyna

Editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

A. V. Shadrin – 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, коллеги и друзья!

В этом номере отражены, на мой взгляд, самые актуальные и острые для Кузбасса и других угледобывающих регионов проблемы промышленной и экологической безопасности. Они широко обсуждались профессиональным сообществом на прошедшей недавно выставке "Уголь России и Майнинг" в Новокузнецке, а также других региональных, общероссийских и международных авторитетных форумах первой половины этого года.

Политику федеральных и региональных властей вобрала сегодня известная программа региона, увязывающая в единый концептуальный комплекс угледобычу, промышленную безопасность и экологизацию производства. Девиз этой программы "Чистый уголь — зелёный Кузбасс" у всех на слуху и всех солидаризировал: население, власти, промышленников, учёных, а также представителей различных общественных движений и партий. Это позволило эффективно использовать научный, производственный и кадровый потенциал Кузбасса.

Региональная программа Кемеровской области приобрела без преувеличения государственное значение, потому что полностью совпадает с политическим, экономическим и социальным запросом общества и бизнеса. Не случайно она поддержана, как отмечали СМИ, властными федеральными структурами. Это мотивирует научно-производственные коллективы работать более эффективно и на результат. Сегодня востребованы не только научные разработки, но и реализованные на их основе проекты, вызывающие резонанс и спрос. Так группа компаний "ВостЭКО и Горный-ЦОТ" успешно внедряет на предприятиях-партнёрах проекты комплексного обеспыливания с системами контроля и пневмогидроорошения на всех пылящих процессах производства, транспортировки и пересыпки угля. Наши специалисты вышли на рынок с уникальным системным подходом в борьбе с промышленной пылью и пылеобразованием. Наши инновационные разработки с использованием фирменных реактивов для борьбы со смерзанием, повышают эффективность применения ПГО и способны предотвращать вторичное взметывание угольной пыли.

Недавно на ВДНХ мы предложили посетителям выставки «МетролЭкспо» познакомиться с уникальной продукцией приборов контроля параметров безопасности атмосферы и экологического мониторинга, разработанных специально для угольщиков России и зарубежья. Это система контроля интенсивности пылеотложений СКИП с использованием искусственной нейронной сети, газоанализаторы, а также прибор контроля запыленности воздуха – единственный в мире малогабаритный экспресс-прибор оперативного контроля запыленности шахтной атмосфер». Эти ключевые разработки "ВостЭКО" и "Горный-ЦОТ" высоко оценили потребители и экспертное сообщество. И сейчас мы наблюдаем оживленный интерес и рост заказов на производство всей линейки предлагаемой нами продукции.

Наряду с этим мы углубляем исследования и активно работаем над новыми проектами по экологической и промышленной безопасности при разработке угольных месторождений. Это наглядно демонстрируют публикации очередного номера "Вестника". Если быть точнее, именно этим проблемам и этой тематике посвящены все без исключения материалы нашего журнала. Здесь вы найдёте отражение и вопросов геомеханики при отработке угольных пластов подземным способом, и систем безопасности опасных производственных объектов. Кроме того одна из публикаций познакомит вас с новыми методическими подходами к экспертизе промышленного оборудования. Перечень актуальных проблем, поднимаемых авторами статей "Вестника" на этот раз можно продолжать и продолжать. Но предлагаю вам, наши дорогие читатели, уже начать с ними знакомиться. Редакционная коллегия будет вам благодарна за отзывы. Мы всегда рады обратной связи, партнёрским предложениям и инициативам.



С наилучшими пожеланиями,
НЭЛЯ ТРУБИЦЫНА,
главный редактор, д.т.н.

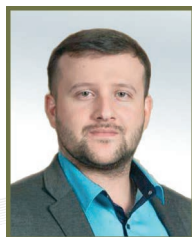
I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА

I. INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS



В.В. Иванов // V.V. Ivanov

д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3
doctor of technical sciences, professor, leading scientific researcher of AO "ScC VostNII", Russia, 650002, Kemerovo, Institutskaia St., 3



В.В. Семенов // V.V. Sementsov

канд. техн. наук, заведующий лабораторией горной геомеханики АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3
candidate of technical sciences, mining geomechanics laboratory head of AO "ScC VostNII", Russia, 650002, Kemerovo, Institutskaia St., 3



В.С. Зыков // V.S. Zykov

д-р техн. наук, профессор, зам. генерального директора по научной работе АО «НЦ ВостНИИ»; Russia, 650002, Kemerovo, Institutskaia St., 3
doctor of technical sciences, deputy general director for scientific work, AO "ScC VostNII" Russia, 650002, Kemerovo, Institutskaia St., 3



П.В. Потапов // P.V. Potapov

канд. техн. наук, зав. лабораторией борьбы с газодинамическими проявлениями АО «НЦ ВостНИИ» Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3
candidate of technical sciences, gas-dynamic phenomena suppression laboratory head, AO "ScC VostNII" Russia, 650002, Kemerovo, Institutskaia St., 3



К.Х. Ли // K.Kh.Li

научный сотрудник лаборатории борьбы с газодинамическими проявлениями АО «НЦ ВостНИИ», Россия, 650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3
scientific researcher of gas-dynamic manifestation suppression laboratory, AO "ScCVostNII", Russia, 650002, Kemerovo, Institutskaia St., 3

УДК 622.273.18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВБЛИЗИ РАЗЛОМОВ И НАРУШЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЯ АНДЕРСОНА

ADDITIONAL TECTONIC HORIZONTAL STRESSES IDENTIFICATION NEAR EARTH'S CRUST FRACTURES AND DISRUPTIONS BASED ON ANDERSON'S FRACTURE FORMATION THEORY

Приводятся результаты расчета углов падения тектонических нарушений и разломов в земной коре, а также дополнительных горизонтальных тектонических напряжений, необходимых для образования нарушений и разломов. Показано, что как углы падения нарушений и разломов типа надвига и сброса, так и дополнительная горизонтальная компонента тензора напряжений зависят существенным образом от коэффициента трения на берегах разлома. Полученные результаты могут быть использованы для оценки тектонических напряжений вблизи нарушений при отработке рудных залежей России и пород рудника «Интернациональный» АК АЛРОССА.

The calculation results of crust tectonic disruptions and fractures inclination angles, as well as additional horizontal tectonic stresses necessary for disruptions and fractures formation are given. It is shown that both the inclination angles of disruptions and fractures such as thrusts and faults, as well as the additional horizontal component of the stress tensor, depend significantly on the friction coefficient at the fracture banks. The obtained results can be used to estimate tectonic stresses in the vicinity of the disruptions when mining Russia's ore deposits and rocks of AK ALROSSA "Internatsionalny" ore mine.

Ключевые слова: ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, УГОЛ ПАДЕНИЯ, РАЗЛОМ, ТЕКТОНИЧЕСКОЕ НАРУШЕНИЕ, ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ КОМПОНЕНТА, НАДВИГ, СБРОС

Key words: TECTONIC STRESSES, INCLINATION ANGLE, FRACTURE, TECTONIC DISRUPTION, ADDITIONAL HORIZONTAL COMPONENT, THRUST, FAULT.

При разработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах возникает необходимость прогноза величины дополнительной компоненты горизонтальных тектонических напряжений, т.к. это может приводить к горным ударам, динамическим формам проявления горного давления и газодинамическим явлениям комбинированного типа (как это происходит, например, на Таштагольском железорудном месторождении и руднике «Интернациональный» АК АЛРОССА).

Будем считать, что горизонтальные и вертикальные напряжения являются главными напряжениями в массиве горных пород (рис.1).

Обозначим через β угол падения разлома. Тогда компоненты тензора напряжений запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= -\rho gH + \Delta\sigma_{xx}, \\ \sigma_{yy} &= -\rho gH, \\ \sigma_{zz} &= -\rho gH + \nu\Delta\sigma_{xx}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta\sigma_{xx}$ – дополнительная компонента горизонтальных тектонических напряжений, отрицательная для надвига и положительная для сброса; H – глубина от поверхности земли. Здесь и далее мы будем считать отрицательными сжимающие напряжения, положительными – растягивающие. Последняя компонента формул

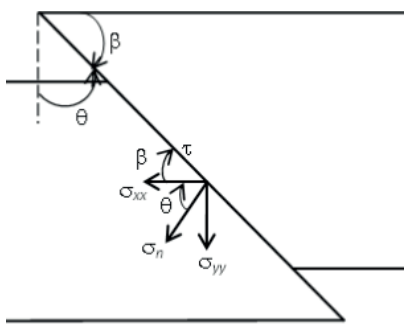


Рисунок 1 – Главные, нормальное и касательное, напряжения на разломе со смещением по падению
Figure 1 - Main, normal and tangential stresses at the fracture with a dip shift

(1) получается из условия, что дополнительная тектоническая компонента деформации $\Delta\epsilon_{zz} = 0$.

Направим по осям x, y единичные орты \vec{e}_1, \vec{e}_2 , а по направлению касательного и нормального напряжений (τ, n) орты \vec{e}'_1, \vec{e}'_2 (рис. 1).

Тогда вектор механического напряжения на плоскости разлома через его проекции на эти оси можно записать:

$$\vec{\sigma} = \sigma_i \vec{e}_i = \sigma'_j \vec{e}'_j \quad (2)$$

Чтобы получить касательное и нормальное напряжения на разломе нужно умножить скалярно последнее выражение сначала на \vec{e}'_1 а затем на \vec{e}'_2 . В результате мы получим:

$$\begin{aligned} \tau &= \sigma_i \vec{e}_i \vec{e}'_1 = \sigma_i \alpha_{i1} = \sigma_{ij} n_j \alpha_{i1} = \sigma_{11} n_1 \alpha_{11} + \sigma_{22} n_2 \alpha_{21} = \\ &= \sigma_{11} \sin 2\beta / 2 - \sigma_{22} \sin 2\beta / 2 = \Delta\sigma_{xx} \sin 2\beta / 2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\alpha_{ij} = \vec{e}_i \vec{e}'_j, n_1 = \sin \beta, n_2 = \cos \beta$ обозначено компоненты единичного вектора нормали в проекции на оси исходной системы координат.

Из рисунка 1 легко получить, что $\alpha_{12} = \sin \beta, \alpha_{22} = \cos \beta$. В формуле (3) мы учли, что главные оси 1 и 2 совпадают с осями x и y , компоненты напряжения связаны на любой площадке с нормалью n с компонентами тензора напряжений следующим выражением: $\sigma_i = \sigma_{ij} n_j$ где по повторяющемуся индексу j ведется суммирование по правилу Эйнштейна. Кроме того, мы учли выражения (1) для компонент главных напряжений. Аналогично для нормального напряжения:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_i \vec{e}_i \vec{e}'_2 = \sigma_i \alpha_{i2} = \sigma_{ij} n_j \alpha_{i2} = \sigma_{11} n_1 \alpha_{12} + \sigma_{22} n_2 \alpha_{22} = \\ &= \sigma_{xx} \sin^2 \beta + \sigma_{yy} \cos^2 \beta = (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) / 2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{xx}) \cos 2\beta / 2, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\alpha_{12} = \sin \beta, \alpha_{22} = \cos \beta$ (см. рис. 1).

Связь между касательным и нормальным напряжениями на поверхности (при образовании разлома) выражается формулой Амонтона – Кулона

$$\tau = f_s \sigma_n, \quad (5)$$

где f_s – коэффициент сухого трения на берегах разлома.

Подставляя формулы (3) и (4) в формулу (5) и выражая из полученной формулы модуль

тектонической компоненты тензора напряжений, получаем:

$$|\Delta\sigma_{xx}| = \mp 2f_s \rho g H / [\sin 2\beta \pm f_s (\cos 2\beta - 1)], \quad (6)$$

где верхний знак соответствует надвигу, а нижний – сбросу.

Основная идея теории Андерсона состоит в том, что разломы образуются под такими углами падения, при которых модуль горизонтальной тектонической компоненты тензора напряжений достигает своего минимального значения. Очевидно, этого можно достичь, считая, что знаменатель выражения (6) минимален. Беря производную от знаменателя по углу падения и приравнявая полученное выражение к нулю, получим:

$$\cos 2\beta \mp f_s \sin 2\beta = 0. \quad (7)$$

Отсюда получаются два решения в соответствии со знаками в уравнении (7)

$$\beta = \arctg(f_s^{-1}) / 2, \quad (8)$$

$$\beta = -\arctg(f_s^{-1}) / 2 + \pi / 2.$$

Верхняя формула в выражении (8) соответствует углу падения надвига, нижняя – углу падения сброса.

На рис. 2 приведена зависимость углов падения надвига и сброса от коэффициента трения на берегах разлома. Для реально наблюдаемых углов падения коэффициент трения должен быть выбран порядка 0.36 [1]. В этом случае угол падения надвига равен 35,1°, а угол падения сброса соответственно 54,9° (см. рис. 2).

Для того чтобы получить оценку тектонических напряжений, нужно подставить решение (8) в формулу (6) и учесть знак

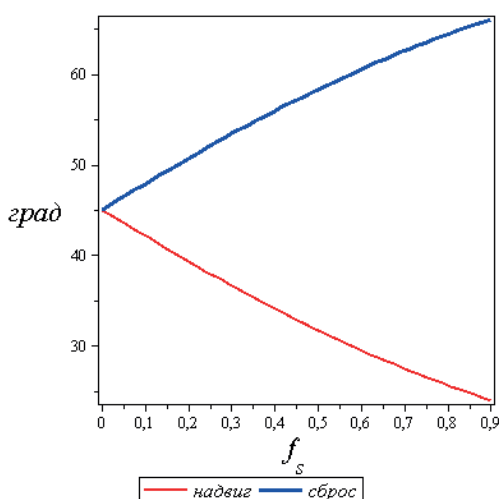


Рисунок 2 – Зависимость углов падения надвига и сброса от коэффициента трения на берегах разлома

Figure 2 - Inclination angles of thrust and fault dependence on the friction coefficient at the fracture banks

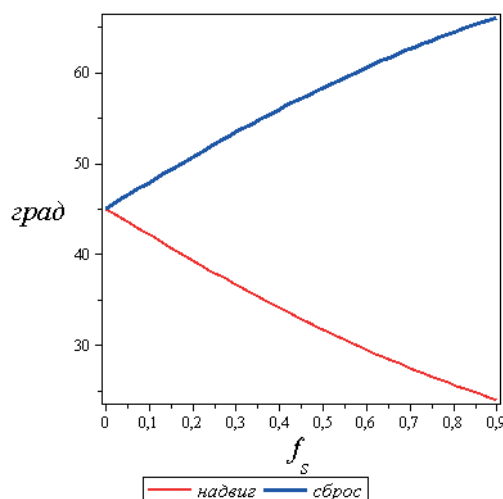


Рисунок 3 – Зависимость дополнительной горизонтальной тектонической составляющей напряжений для надвига и сброса от коэффициента трения на берегах разлома

Figure 3 - Additional horizontal tectonic and fault stresses component dependence on the friction coefficient at the fracture banks

дополнительной тектонической горизонтальной составляющей напряжений для надвига и сброса, в результате мы получим:

$$\Delta\sigma_{xx} = \mp f_s (-\rho g H) / [\pm f_s - \text{sqrt}(1 + f_s^2)], \quad (9)$$

где верхний знак соответствует надвигу, а нижний – сбросу.

На рис. 3 приведена зависимость горизонтальной дополнительной компоненты тектонических напряжений от коэффициента трения на берегах разлома. Как известно [1], для реальных значений углов падения надвигов и сбросов коэффициент трения на берегах разлома равен примерно 0,36, поэтому, пользуясь полученной зависимостью (9), можно оценить дополнительную компоненту тензора напряжений для надвига и сброса на глубине 1200 м от поверхности земли следующим образом:

$$\Delta\sigma_{xx} = -29.4 \text{ МПа},$$

$$\Delta\sigma_{xx} = 14.9 \text{ МПа}. \quad (10)$$

По формулам (1) можно оценить полные главные компоненты тензора напряжений, из которых нас будет интересовать лишь горизонтальная компонента:

$$\sigma_{xx} = -59.5 \text{ МПа} - \text{надвиг},$$

$$\sigma_{xx} = -14.5 \text{ МПа} - \text{сброс}. \quad (11)$$

Как видно из полученных результатов, наибольшее значение тектонические напряжения достигают вблизи нарушения (разлома) типа надвига, причем эти напряжения

сжимающие. Именно в условиях сжимающих напряжений и рождаются надвиги, поэтому они наиболее распространены на горнодобывающих предприятиях. По порядку величина сжимающих

напряжений при образовании надвига в нашем случае сравнима с напряжениями, снимаемыми при крупных землетрясениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. Механика блочных структур. Электронное учебное пособие. Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2015. 107 с.

REFERENCES

1. Ivanov, V.V. (2015). Mekhanika blochnykh struktur [Mechanics of block structures]. Kemerovo: KuzGTU [in Russian].



ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ (ДЛЯ ВСЕХ ВИДОВ ПЫЛИ)

Уникальные запатентованные разработки
ООО «Горный-ЦОТ»



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

Применяются на всех угольных предприятиях Кузбасса, РФ и зарубежом



■ М.С. Плаксин // M.S. Plaksin
gas_coal@kemsc.ru

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУН «ФИЦ УУХ СО РАН», Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10
candidate of technical sciences, chief researcher of Coal and Coal Chemistry Federal Research Center Institute of Coal, Russian Academy of Sciences Siberian Branch, 10, Leningradsky Avenue, Kemerovo, 650065, Russia

УДК 622.831.322

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПО РАЗРАБОТКЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ГАЗОВОЙ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

MODERN OPPORTUNITIES FOR THE GAS AND GAS DYNAMIC SAFETY INCREASING METHODS DEVELOPMENT AT COAL SEAM MINING BASED ON DATA RECEIVED DURING PREPARATORY OPENING HEADING

Инициирование опасных газодинамических явлений, в том числе внезапных выбросов угля и газа, а также вероятность загазования рабочего пространства являются основными факторами, влияющими на темпы ведения горных работ подземным способом. Совершенствование технических средств по добыче угля и увеличение глубин ведения горных работ требуют совершенствование методов по прогнозированию газовой и газодинамической опасности.

Проведение подготовительных выработок вызывает изменение природного напряженного состояния в их окрестностях. Исследование только газокинетической реакции углепородного массива этих изменений в зависимости от интерпретации может предоставить исчерпывающую и важную информацию, использовать которую можно при проведении близлежащих выработок (выработка-аналог) или непосредственно при отработке выемочного столба, освещение данной задачи приводится в представленной статье.

Представлено устройство для выполнения замера газоносности угольного пласта через шпур, пробуренные в забой подготовительной выработки.

The initiation of hazardous gas-dynamic phenomena, including sudden outbursts of coal and gas, as well as the likelihood of gas penetration into the working space, are the underground method mining operations rate. Improving coal mining equipment and increasing the depths of mining operations require improved methods for predicting gas and gas dynamic hazards.

Preparatory workings cause a change in the natural stress state around them. The study of only the gas-kinetic reaction of the coal-bearing massif of these changes, depending on the interpretation, can provide an exhaustive and important information, which can be used in conducting the nearby opening (analogue opening) or directly during the extraction pillar mining, the coverage of this task is provided by the presented article.

A device is presented for measuring the gas content of a coal seam through boreholes drilled into the face of a preparatory opening.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ, ГАЗОНОСНОСТЬ, МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

Key words: COAL SEAM, PREPARATORY OPENING, GAS CONTENT, METHANE INFLOW, GAS-DYNAMIC HAZARD

Принятые в промышленности методы контроля газодинамической активности угольных пластов в очистных и подготовительных забоях значительно сдерживают производительность горных работ, затрудняя принятие единого комплекса мер по снижению метанообильности и выбросоопасности. Но их автоматизация сдерживается не только недостаточностью научных знаний, основы которых заложены еще в 80-х годах прошлого века, но и действующими в промышленности требованиями, нормативных схем размещения датчиков контроля концентрации метана и расхода воздуха, сбоями в системе мониторинга рудничной атмосферы. Эти вполне доступные для оптимизации факторы препятствуют созданию инженерных методов количественной оценки динамики реакции углеметанового пласта непосредственно в процессе технологического цикла. Если устранить эти технические сложности, то можно рассматривать проведение подготовительных выработок как доразведку пласта, перенося ее результаты и на оконтуриваемый очистной забой.

По данным электронных систем контроля можно на первом этапе по показаниям датчиков на исходящей струе воздуха выполнить полноценный анализ динамики метанообильности проводимой выработки и оценить газодинамическую активность достаточно представительной зоны пласта и частично площади оконтуриваемого выемочного пласта [1, 2]. Эти сведения позволяют повысить объективность заключений об интегральной газодинамической реакции приконтурной части пласта, включающую забой и борта выработки.

Физическая суть анализа основана на представлении: реакция приконтурной части газоносного пласта при создании любого выреза (шпур, скважина, штрек и т.д.) приводит к механической разгрузке пласта на определенном расстоянии от контура выработки. Чем больше потенциальная энергия пласта, тем больше размер зоны ее влияния, и, следовательно, большие объемы метана поступают в выработку. Особенностью пластов является изменчивость их свойств. О характере этой изменчивости и ее тенденциях по трассе проведения выработки можно судить по динамике относительных изменений метанообильности.

Известны: декадные замеры воздуха; геологоразведочные данные; значение показаний концентраций трех датчиков (забойный, в 20-ти метрах от забоя, на исходящей).

В качестве критерия оценки разработан

показатель, отражающий долю реализации газового потенциала, как характеристики дополнительного газопритока в выработку

$$P_{\text{выр}} = \frac{I_{\text{сум}}}{G_{\text{выр}}}, \text{ усл. ед.} \quad (1)$$

Здесь $I_{\text{сум}}$ – фактический объем метана, выделившийся за сутки из подготовительной выработки, м³/сут; $G_{\text{выр}}$ – содержание метана в угле по угольному пласту за сутки подвигания, м³/сут.

Суточная метанообильность:

$$I_{\text{сум}} = 1440 \frac{CQ}{100}, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2)$$

Содержание метана в пласте, в пределах сечения выработки по углю:

$$G_{\text{выр}} = m \cdot h_{\text{ум}} \cdot V_{\text{сум}} \cdot \gamma \cdot \chi \cdot \left(1 - \frac{W + A}{100}\right), \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (3)$$

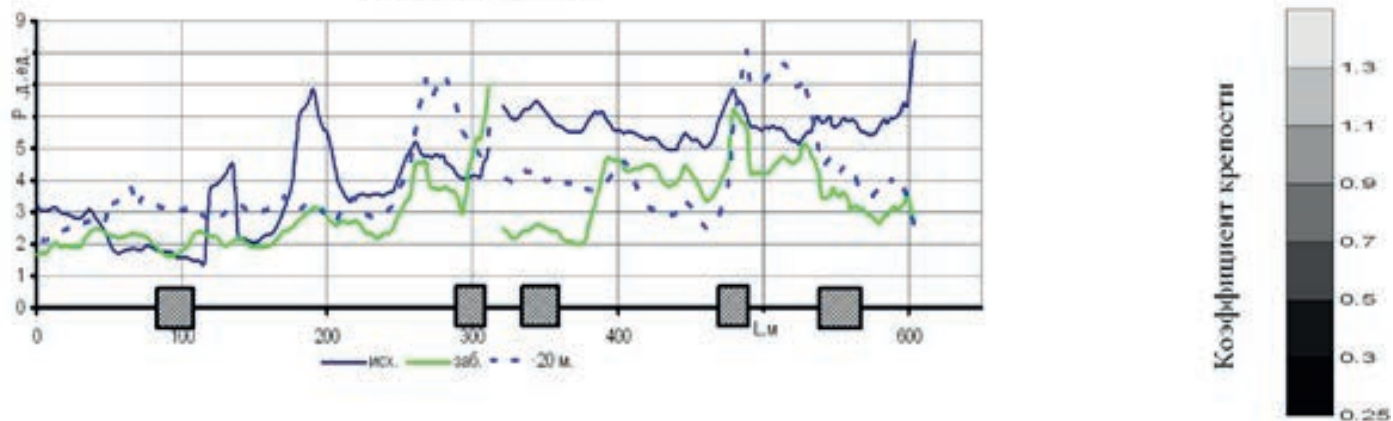
Здесь C – среднесуточная концентрация метана в подготовительной выработке, %; Q – расход воздуха, м³/мин; g – газоносность пласта, с.б.м., м³/т; $V_{\text{сум}}$ – скорость подвигания забоя, м/сут; $h_{\text{ум}}$ – ширина выработки, м; m – мощность пласта в пределах сечения выработки, м; g – плотность угля, т/м³; W – влажность угля, %; A – зольность угля, %.

Значимость разработанного показателя определяется его возможностью количественно оценивать газодинамическую активность угольного пласта при проведении подготовительных выработок.

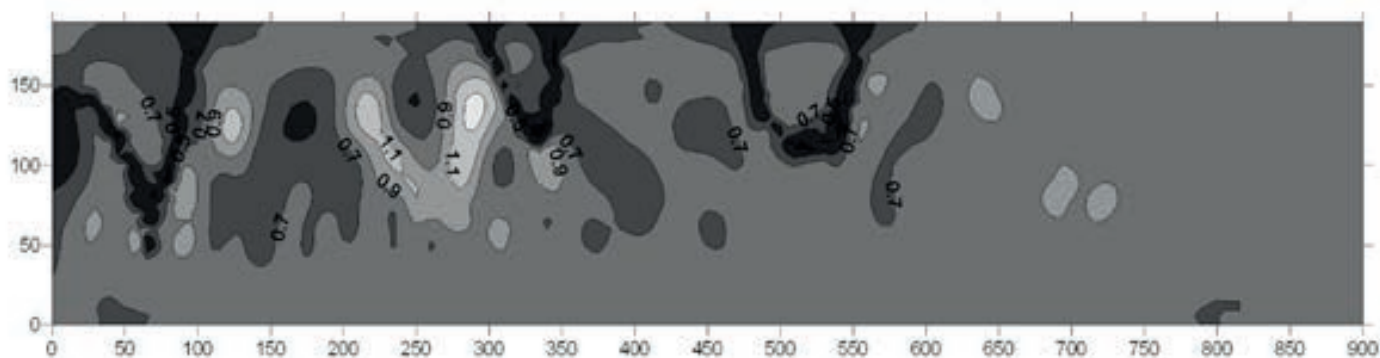
На рисунке 1 показаны графики реализации газового потенциала пласта при проведении вентиляционного и конвейерного штреков лавы 351 ОАО «Шахта «Чертинская-Коксовая» и карта коэффициента крепости угля в пределах оконтуренного ими выемочного столба выбросоопасной лавы (шкала по штрекам соответствует расположению относительно представленного выемочного столба). Видно, что показатель P изменяется соответственно свойствам пласта, в т.ч. реагируя и на его геологическую нарушенность.

Показатель не только подтверждает зоны нарушенности пласта по данным электрометрии (установлены ВостНИИ), но и содержит информацию о нарушенных зонах, не зафиксированных этим методом (геологические нарушения). Этот факт указывает на самостоятельную значимость результатов анализа динамики метанообильности и в тоже время на целесообразность его выполнения для комплексного уточнения границ газодинамически опасных зон, что позволяет на предварительном этапе уточнить (или разработать) комплекс мер, направленных на снижение газовой и газодинамической опасно-

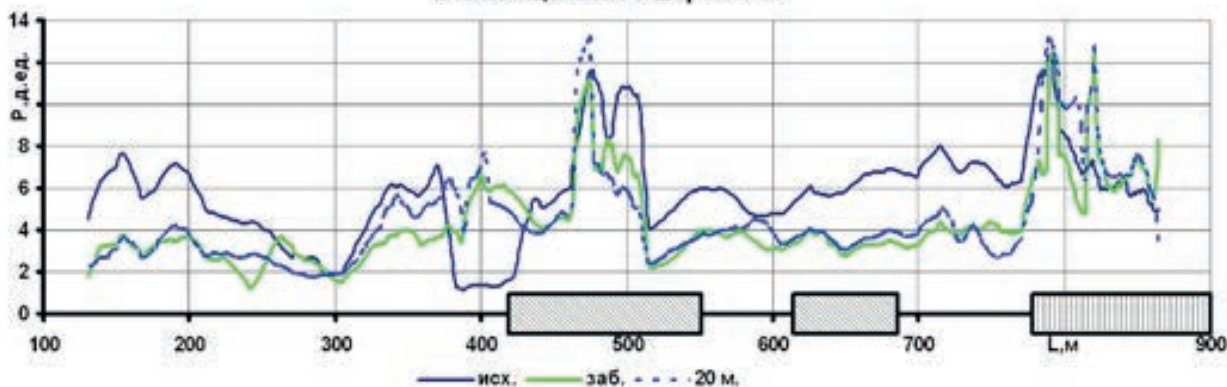
Доля реализации газового потенциала обрабатываемого пласта при проведении конвейерного штрека 351



Зоны нарушения пласта 3 по данным электрометрии (ВостНШ)



Доля реализации газового потенциала обрабатываемого пласта при проведении вентиляционного штрека 351



- нарушения по данным электрометрии
- зона ПГД
- дизъюнктивные нарушения

Рисунок 1 – Доля реализации газового потенциала при проведении вентиляционного и конвейерного штреков № 351 и карта коэффициента крепости угля в оконтуренном ими выемочном столбе

Figure 1 - Gas potential implementation part during ventilation and conveyor galleries number 351 heading and coal strength factor map in the contoured by them coal pillar

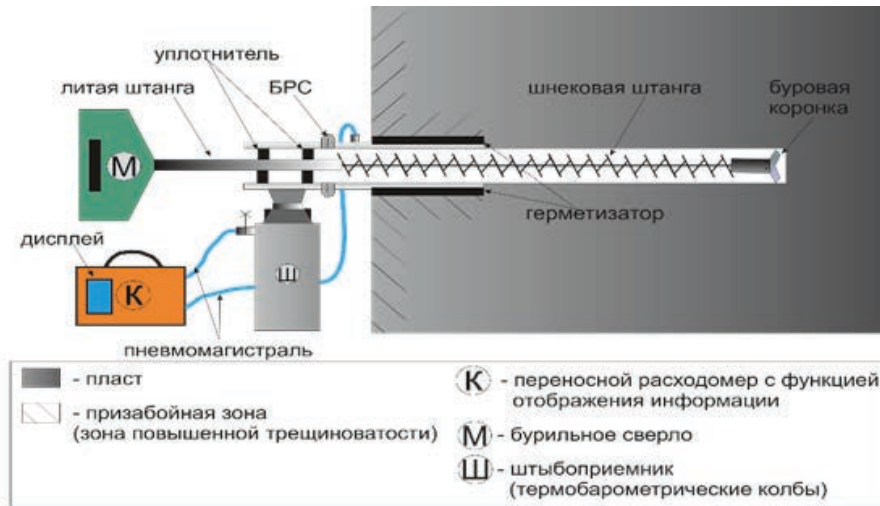


Рисунок 2 – Устройство измерения газоносности угля (УИГУ)
 Figure 2 - Coal gas content measuring device (UIGU)

сти при отработке выемочного столба.

К аналогичному выводу приходим и при анализе динамики метанообильности вентиляционного штрека 351 в течение суток, которая характеризует реакцию массива в пределах технологического цикла (рис.1). Например, на исходящей струе регистрируются пульсации, отсутствующие в забое, что указывает на опасную реакцию бортов выработки.

Показатель доли реализации газового потенциала конвейерного штрека (рис.1) имеет нарастающую динамику по мере подвигания, что с высокой вероятностью определяется либо увеличением газоносности угольного пласта, либо повышением его газодинамической активности. В целом вопрос определения содержания газа в угле на момент начала отработки пласта (технологическая газоносность) достаточно актуален

[3]. На наиболее значительные изменения газоносности в пределах выемочного столба оказывают проводимые в непосредственной близости работы по отработываемому пласту, а также отработка выше и ниже лежащих пластов [4].

Подвигание подготовительной выработки по угольному пласту вызывает изменение природного напряженного состояния в ее окрестностях. Небольшая ширина подготовительной выработки и высокий темп ее подвигания не позволяют «широкого развития» от забоя выработки зоны неупругого деформирования в приконтурной части пласта. Однако имеются возможности по измерению технологической и (или) природной газоносности угольного пласта в непосредственной близости от забоя выработки.

Для измерения газоносности угля при бурении шпуров в забой выработки в ИУ ФИЦ УУХ

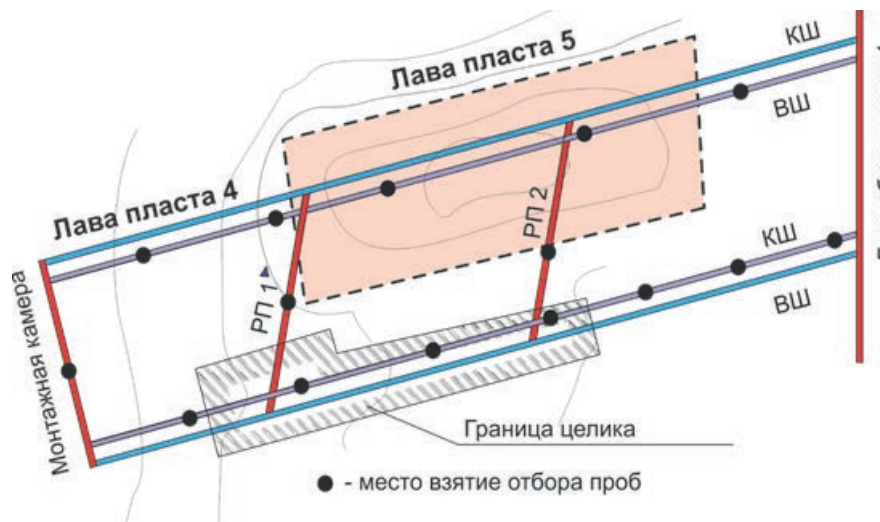


Рисунок 3 – Пример уточнения газоносности угольного пласта на основании отбора проб при проведении подготовительных выработок (РП – разрезная печь, КШ – конвейерный штрек, ВШ – вентиляционный штрек, МК – монтажная камера)

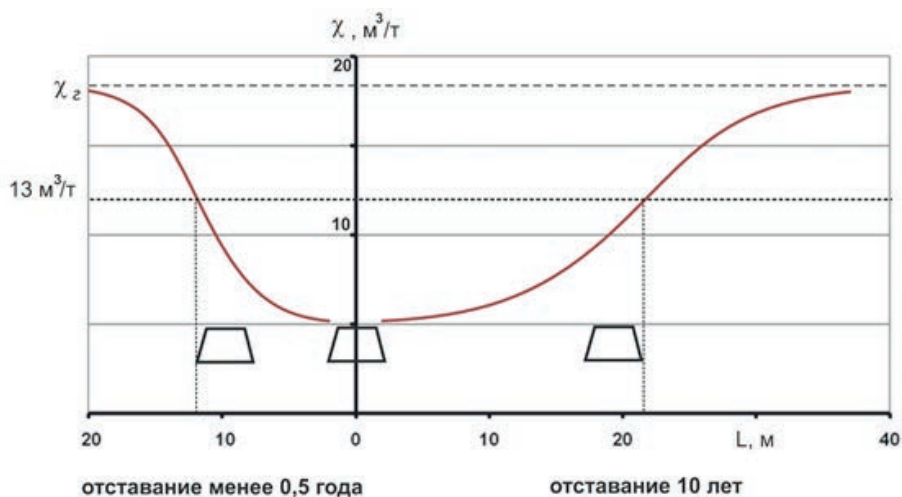


Рисунок 4 – Изменение газоносности пласта при проведении параллельных подготовительных выработок с разным периодом отставания от основной выработки
 Figure 4 - Changes in the seam gas content during parallel preparatory opening heading with a different period of lag from the main opening

СО РАН [5] разработано оригинальное устройство, позволяющее выполнять отбор проб угля в изолированном режиме. К возможностям устройства также можно отнести мониторинг газокинетических и газодинамических характеристик по направлению от забоя вглубь массива, в том числе мониторинга фронта газового давления для оценки газодинамической опасности [6,7].

Поскольку подготовительные выработки оконтуривают выемочный столб, то выполняемая серия замеров газоносности по его периметру с высокой точностью позволяет с применением методов интерполяции интерпретировать изменение газоносности по площади выемочного столба с построением изолиний газоносности (рис.3).

Разгружающее (дегазационное) влияние подготовительных выработок на выемочный

столб относительно его общей площади невелико [1,8], но на проводимую параллельную выработку может оказывать значительное влияние. В качестве примера на рисунке 4 представлены результаты расчёта расстояния для безопасного проведения параллельных подготовительных выработок на основании дегазационного эффекта от ранее проведённой подготовительной выработки

Внедрение представленных наработок – от показателя доли реализации газового потенциала до оперативного определения газоносности угольного пласта при проведении подготовительных выработок позволит значительно повысить информативность газового и газодинамического контроля, а, следовательно, повысить безопасность горных работ в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родин, Р.И. Эффективность дегазации шахт Кузбасса / Р.И. Родин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2011. – № 2. – С. 116–119.
2. Козырева, Е.Н. Газодинамическая активность угольного пласта и необходимость применения его дегазации / Е.Н. Козырева, А.А. Рябцев // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2018. – № 1. – С. 8–13
3. Тайлаков, О.В. К оценке эффективности дегазации угольного пласта на основе определения его остаточной газоносности // Наука и техника в газовой промышленности. – Санкт-Петербург, 2018. – № 4. – С. 43–47.
4. Козырева, Е.Н. Необходимость применения пластовой дегазации по уточненной газоносности пласта (на примере лавы № 449 Шахты «Чертинская-Коксовая») / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, С.Р. Смирнов, В.Ф. Исамбетов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – № 1. – С. 14–19.
5. Плаксин М.С. Технические основы создания инновационного устройства и оперативного метода определения газоносности угольного пласта / М.С. Плаксин, Р.И. Родин, В.П. Титов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S49. – С. 165–173.
6. Зыков, В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах / В.С. Зыков. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2010. – 333 с.
7. Полевщиков, Г. Я. Динамические газопроявления при проведении подготовительных и вскрывающих выработок в угольных шахтах. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. – 317 с.

8. Козырева, Е.Н. Особенности газогеохимических процессов на выемочном участке шахты / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 28–35..

REFERENCES

1. Rodin, R.I. (2011). Effektivnost degazatsii shakht Kuzbassa [Kuzbass mines degassing efficiency]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, Kemerovo, 2, 116-119 [in Russian].
2. Kozyreva, Ye.N., & Riabtsev, A.A. (2018). Gazo-dinamicheskaia aktivnost ugolnogo plasta i neob-hodimost primeneniya ego degazatsii [Gas-dy-namic activity of a coal seam and the need to use its degassing]. Vestnik nauchnogo tsentra po be-zopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Her-ald of Safety in Mining Industry Scientific Center, Kemerovo, 1, 8-13 [in Russian].
3. Tailakov, O.V. (2018). K otsenke effektivnosti degazatsii ugolnogo plasta na osnove opredeleniia ego ostatochnoi gazonosnosti [To the assessing of a coal seam degassing efficiency based on the determination of its residual gas content]. Nauka i tekhnika – Science and Technology, St. Peters-burg, 4, 43-47 [in Russian].
4. Kozyreva, Ye.N., Shinkevich, M.V., Smirnov, S.R., & Isambetov, V.F. (2018). Neobhodimost prime-neniya plastovoi degazatsii po utochnennoi gazo-nosnosti plasta (na primere lavy № 449 Shakhty «Chertinskaya-Koksovaia») [The need for the use of seam degassing according to the specified seam gas content information (on the example of the longwall number 449, Mine Chertinskaya-Koksovaya)]. Vestnik nauchnogo tsentra po be-zopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Her-ald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 1, 14-19 [in Russian].
5. Plaksin, M.S., Rodin, R.I., & Titov, V.P. (2018). Tekhnicheskie osnovy sozdaniia innovatsionnogo ustroistva i operativnogo metoda opredeleniia ga-zonosnosti ugolnogo plasta [Technical basis for creating an innovative device and an operational method for determining the coal seam gas con-tent]. Gornyi informatsionno-analiticheskii bulleten – Mining Informational Analytical Bulletin, S49, 165-173 [in Russian].
6. Zikov, V.S. (2010). Vnezapnye vybrosy uglia i gaza i drugie gazo-dinamicheskie iavleniia v shakhtakh [Sudden coal and gas outbursts and other gas-dynamic phenomena in mines]. Keme-rovo: Coal and Coal Chemistry Institute, Russian Academy of Sciences Siberian Branch [in Rus-sian].
7. Polevshchikov, G.Ya. (2003). Dinamicheskie gazoproivleniia pri provedenii podgotovitelnykh i vskryvaiushchikh vyrabotok v ugolnykh shakhtakh [Dynamic gas phenomena during preparatory and opening works in coal mines]. Kemerovo: Coal and Coal Chemistry Institute, Russian Academy of Sciences Siberian Branch [in Russian].
8. Kozyreva, Ye.N., & Shinkevich, M.V. (2010). Oso-bennosti gazogeomekhanicheskikh protsessov na vyemochnom uchastke Shakhty [Features of gas-geomechanical processes at the mine extraction section]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopas-nosti rabot v ugolnoi promyshlennosti – Herald of Safety in Mining Industry Scientific Center, 2, 28-35 [in Russian].

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

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

indsafe.ru



II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

II. FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY



С.Б. Романченко //
S. B. Romanchenko
romanchenkosp@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 VNIIPPO MChS of Russia, microdistrict 12, VNIIPPO, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russia



М.О. Девликанов //
M.O. Devlikanov

главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Россия, Московская область, г. Балашиха, ВНИИПО, 12
candidate of technical sciences, technical chief researcher of FGBU VNIIPPO MChS of Russia. Address – Balashikha, Moscow Region, 143903, micro-district VNIIPPO, 12

УДК 622.814:622.411.52

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВЗРЫВООПАСНОСТИ

COAL DUST DISPERSE COMPOSITION EFFECT ON THE EXPLOSIVITY RISKS

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований влияния дисперсного состава угольной пыли на показатели взрывоопасности: величину нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР или НПВ), максимальное давление взрыва и скорость нарастания давления. Приведены результаты серии испытаний в 20-литровой взрывной камере. На примере энергетического угля марки ДГ с выходом летучих веществ 37,3% рассмотрено увеличение максимального давления взрыва на 23-40% и рост скорости нарастания давления практически в 10 раз при снижении максимальной величины частиц с 212 до 25 мкм. Одновременно с этим исследована динамика нижнего концентрационного предела распространения пламени при изменении дисперсного состава угольной пыли. Рассмотрены практические аспекты влияния дисперсного состава на степень взрывчатости угольной пыли в полномасштабных взрывных экспериментах.

The article discusses the results of experimental studies of coal dust dispersed composition effect on explosive hazard indicators: the value of flame propagation lower concentration limit (NKPR or NPV), the maximum explosion pressure and the pressure rise rate. A series of tests results in a 20-liter blast chamber are shown. Using the example of DG energy coal with a yield of volatile substances of 37.3%, an increase in the maximum explosion pressure by 23-40% and an increase in the rate of pressure build-up by almost 10 times with a decrease in the maximum particle size from 212 to 25 μm are considered. At the same time, the dynamics of the lower concentration limit of flame propagation with a change in the dispersed composition of coal dust was investigated. The practical aspects of the dispersion composition influence on coal dust explosiveness degree in full-scale explosive experiments are considered..

Ключевые слова: ВЗРЫВ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛИ, ПЫЛЕВАЯ ФРАКЦИЯ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, АЭРОЗОЛЬ, ВЗРЫВНАЯ КАМЕРА, УРОВЕНЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ, ИНИЦИАЛ, ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬ, ДАВЛЕНИЕ ВЗРЫВА, СКОРОСТЬ НАРАСТАНИЯ ДАВЛЕНИЯ, НИЖНИЙ КОНЦЕНТРАЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ

Key words: EXPLOSION, DUST CONCENTRATION, DUST FRACTION, DISPERSED COMPOSITION, AEROSOL, EXPLOSION CHAMBER, DUST LEVEL, INITIAL, IGNITER, EXPLOSION PRESSURE, PRESSURE BUILD-UP RATE, LOWER CONCENTRATION LIMIT

ВВЕДЕНИЕ
Взрывчатые свойства угольной пыли как одного из наиболее опасных факторов подземной добычи полезных ископаемых численно характеризуются рядом показателей, регламентированных националь-

ными и международными стандартами [1-4,10]. Традиционно пожаровзрывоопасность веществ и материалов рассматривается как совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения. В зависимости от скорости горения и условий про-

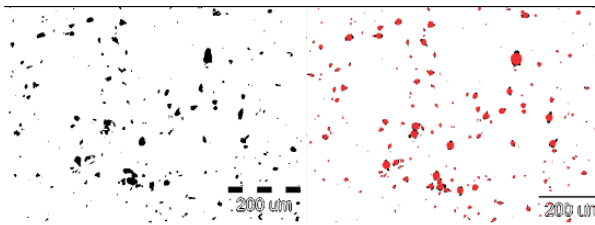


Рисунок 1 – Компьютерное определение эквивалентных диаметров частиц пыли (правый фрагмент) на основе электронно-микроскопического изображения (левый фрагмент)

Figure 1 - Computer-aided determination of dust particles (right fragment) equivalent diameters based on an electron microscopic image (left fragment)

текания окислительных процессов пожар определяется как диффузионное горение, а взрыв - дефлаграционное горение смеси горючего с окислителем [2].

При изучении комплекса вопросов, связанных со взрывами угольной пыли, в нормативах и технической литературе рассматриваются частицы размерами до 841-850 мкм. В Правилах безопасности США¹, Австралии и др. угледобывающих стран к взрывоопасной пыли относятся частицы, проходящие через сито №20 (841 мкм), к витающей пыли относятся частицы, проходящие через сито № 200 (74 мкм). В РФ к термину «взрывчатая пыль» [1,2] относят частицы до 850 мкм, то есть большая часть фракции товарного угля 0-1 мм. Поскольку частицы пыли имеют неправильную форму (как правило - изометрическую) для них введен обобщенный показатель размера – эквивалентный (проекционный) диаметр² d_e , который может быть определен при обработке изображений электронной микроскопии или в лазерных анализаторах дисперсного состава пыли (рисунок 1). Распространенный ранее показатель – аэродинамический диаметр ориентирован на седиментационные методы анализа и в настоящее время практически не определяется.

С учетом принятых обозначений к «взрывчатая пыль» отнесены частицы :

$$d_e \leq 841 \div 850 \text{ мкм} \quad (1)$$

Взрывное горение угольных частиц возможно только в аэрозольном состоянии, для которых предусмотрены следующие показатели пожаровзрывоопасности [1,2]:

-нижний концентрационный предел распространения пламени или воспламенения (НКПР);

- максимальное давление взрыва (P_{max});
- скорость нарастания давления при взрыве (dP/dt);
- минимальная энергия зажигания (W_{min});
- минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК).

В нормативах угольной промышленности [3] рассматривается нижний предел взрываемости пыли (обозначаемый как НПВ или σ_{lo}) – максимально допустимое количество отложившейся пыли, отнесенное к единице объема выработки, при которой невозможно распространение взрыва по запыленному участку. Поскольку НКПР трактуется как минимальное содержание горючего вещества в смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени на любое расстояние от источника зажигания, то практически НКПР – это НПВ при условии перевода всей массы пыли из отложившегося состояния в витающее. Оба показателя НПВ и НКПР измеряются в г/м³, однако исходя из физической сущности горения угольного аэрозоля далее применяется термин НКПР (отложившаяся пыль не представляет непосредственной угрозы взрыва до момента ее перевода в аэрозольное состояние).

Не смотря на то что указанными нормативами к взрывчатой пыли отнесены частицы согласно неравенства (1), этими же документами предписано, что для экспериментального определения показателей взрыва угольную пыль необходимо рассеивать до размеров менее 100 мкм [2]:

$$d_e \leq 100 \text{ мкм.} \quad (2)$$

При этом необходимо отметить, что действующим ГОСТ [4] выход летучих веществ (V^{daf}) исследуется для частиц размерами до 212 мкм:

$$d_e \leq 212 \text{ мкм.} \quad (3)$$

С учетом неоднозначности нормативных требований (неравенства (1)-(3)) при определении различных показателей взрывоопасности существует разброс в полученных результатах и их трактовке. Реально отложившаяся угольная пыль имеет значительно большую степень раздробления [5,6], чем это предусмотрено рассмотренными выше нормами. В качестве примера можно привести исследования дисперсного состава отложения пыли в высокопроизводительных лавах ОА «СУЭК»³. Наиболее распространенный диаметр частиц (или мода эквивалентного диаметра) находится в диапазоне 25-27 мкм [5,6]:

$$d_e \leq 25 \text{ мкм.} \quad (4)$$

Изучению влияния дисперсно-

¹ Title 30 – Mineral Resources.- vol.1, parts 1-199. Washington: U.S. Government Printing Office, 2009. – 767 p.

² Эквивалентный (проекционный) диаметр частицы – диаметр круга, имеющего такую же площадь как видимая проекция частицы пыли. Исходя из принципа изометричности диаметр круга условно принимается равным диаметру шарообразной частицы.

³ Проведен отбор проб пыли в средней и верхней части оборудования лав. Пыль, размещаемая у кровли наиболее взрывоопасна [5,6].

го состава пыли на ее взрывчатые свойства посвящено настоящее исследование.

1. Практические аспекты влияния дисперсного состава на степень взрывчатости угольной пыли

Наиболее явно зафиксирована зависимость взрывчатости пыли от ее дисперсности во время полномасштабных экспериментов в опытной шахте КД «Барбара» (Польша) [5,6]. Во время взрыва (порядковый номер 680) исследовалась угольная пыль с выходом летучих веществ $V^{daf} = 11,5\%$, формально отнесенная к неопасным по взрывам ($V^{daf} < 15\%$). Предполагалось подтвердить отрицательный результат в отнесении данной пыли к взрывоопасной либо зафиксировать слабый взрыв пыли со скоростью пламени порядка $V_n = 50-100$ м/с и избыточным давлением во фронте УВВ $P \leq 20 - 80$ кПа. Однако уже на первых десятках метров от зоны инициирования скорость пламени V_n резко возросла и на расстоянии 120 м от места воспламенения V_n достигла 2000 м/с, а датчики давления, рассчитанные на измерения до 1,2 МПа, зашкалили (рисунок 2).

Параметры взрыва $V_n \geq 2000$ м/с и $P \geq 1,2$ МПа характерны для детонационного взрывного горения угольного аэрозоля и для условий опытной шахты «Барбара» достигались крайне редко, даже при взрывах пыли с высоким выходом летучих веществ. Как правило, на шахте «Барбара» используются два вида пыли: $d85$ или $d25$. Число при идентификаторе dxx обозначает процент пыли с частицами менее 75 мкм, и, соот-

ветственно, пыль $d85$ получается при рассеивании на сите с величиной ячеек около 100 мкм, пыль $d25$ – при рассеивании на сите 180-212 мкм. Причиной резкого увеличения показателей взрывоопасности пыли во взрыве № 680 стала более высокая дисперсность пыли, была использована пыль с величиной удельной поверхности $F > 8410$ см²/г, что приблизительно соответствует рассеиванию на сите с величиной ячеек 20-25 мкм [5,6].

Данный полномасштабный эксперимент показал реальную опасность наличия отложенной мелкодисперсной пыли в шахтах (5-30 мкм). Такая пыль имеет существенно более высокую взрывоопасность, чем пыль, подготовленная по стандартным процедурам (212 мкм или 100 мкм), на которой проводятся плановые лабораторные определения выхода летучих веществ или исследуются показатели взрывоопасности. По результатам лабораторных испытаний такая пыль может быть отнесена к неопасной по взрывам за счет невысокого выхода летучих веществ (как в рассмотренном случае - $V^{daf} < 15\%$), однако за счет высокой дисперсности происходит существенное повышение фактического выхода летучих веществ, показатели взрывоопасности P_{max} и dP/dt возрастают, а нижний предел взрываемости снижается.

2. Экспериментальное определение показателей взрывоопасности в 20-литровых камерах.

Полномасштабные взрывные эксперименты (рисунок 2) являются крайне трудоемкими и дорогостоящими. Так расход специально подготовленной угольной пыли в разных взрывах составляет от 0,4 до 8 кг на погонный метр штрека. Для 400-метровой взрывной выработки необходимо подготовить и разместить до 3,5 тонн угольной пыли с заранее определенным дисперсным составом. Для снижения трудозатрат и увеличения количества проводимых испытаний показатели взрывоопасности определяют в камерах с объемом 20 л или 1 м³ (рисунок 3).

Используемые в настоящее время камеры имеют сферическую или близкую к сферической форму [7] и рассчитаны на избыточное давление не менее 2 МПа. Для фиксации быстротекущих параметров взрыва и их обработки применяется стенд, в котором взрывная камера интегрируется с компьютерным комплексом (рисунок 4).

В качестве источника зажигания в камерах применяются химические воспламенители с различной калориметрической энергией. В зарубежных источниках приводится величина энергии воспламенителей от 1-2,5 кДж в камере Гор-

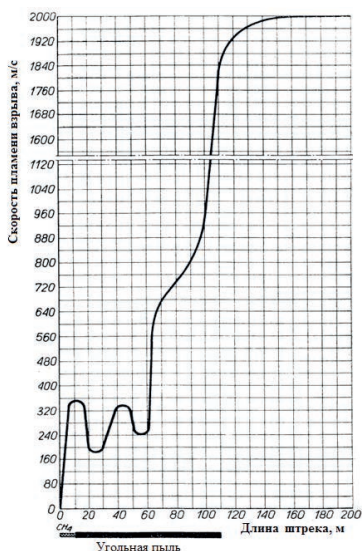


Рисунок 2 – Протекание взрыва № 680 (КД «Барбара»), уголь пласта 18V; $V^{daf} = 11,5\%$; инициал - 27,5 м³ CH₄ размещен на начальном десятиметровом отрезке штрека [5]

Figure 2 - Explosion № 680 (KD "Barbara") behavior, seam coal 18V; $V^{daf} = 11.5\%$; initial - 27.5 m³ of CH₄ is placed at the initial ten-meter section of the drift [5]



Рисунок 3 - Сферические взрывные камеры объемом 20 дм³
(фото: Adolf Kühner AG, Швейцария – слева; ANKO, Польша - справа)

Figure 3 - Spherical blasting chambers with 20 dm³ volume
(photo: Adolf Kühner AG, Switzerland - on the left; ANKO, Poland - on the right)

ного Бюро США [7], максимальная энергия воспламенителей – 2 x 5 кДж по EN 14034-3:2006 [10]. Воспламенители с калориметрической энергией 5 кДж выпускаются промышленно, масса каждого воспламенителя составляет 1,2 г. Воспламенители активируются при помощи электрического импульса длительностью до 10 мс. Два химических запала размещают в центре взрывного сосуда так, чтобы они выстрелили в противоположных направлениях. Повышенная энергия (2 x 5 кДж) требуется как для воспла-

менения угольных аэрозолей с различной степенью взрывчатости, так и для трудновоспламеняющихся порошков – смесей угольной пыли с ингибиторами воспламенения (осланцованной угольной пыли с различным содержанием инертных добавок) [2,6,7].

Необходимо отметить определенную разницу физики взрыва в лабораторных взрывных камерах и взрыва в разветвленной сети горных выработок: взрыв в камере протекает в условиях постоянного и ограниченного объема⁴, а взрыв в условиях подземных выработок хотя и происходит в подземном пространстве, не ограничен жесткими границами, имеющимися в камере. Несмотря на это испытания во взрывных камерах являются одним из основных способов определения показателей взрывоопасности. Общие принципы исследовательских взрывов в камерах представлены Горным Бюро США [7]. Камеры в Горном Бюро дополнительно снабжены 4 оптическими датчиками, контролирующими равномерность распределения частиц пыли перед взрывом в различных точках камеры. Как показали исследования Горного Бюро (США) [7]:

- концентрация пыли в различных частях 20-литровых камер остается практически постоянной в течение 1 с после диспергирующего импульса;
- при низких концентрациях аэрозоля на-



Рисунок 4 - Взрывная камера (объем 20 л) и аппаратно-программный исследовательский комплекс ФГБУ ВНИИПО МЧС России (ПВ20)

Figure 4 - Explosion chamber (20 l volume) and hardware-software research complex of the FGBU VNIIPo MChS of Russia (PV20)

⁴ Изохорный (или изохорический) процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объеме ($V=const$). Для таких процессов давление прямо пропорционально температуре и, соответственно, рост температуры в камере вследствие реакции горения, приведет к пропорциональному приросту статического давления газа. Ударная волна в камерах, по указанным причинам, не формируется и не может быть исследована.

блюдается незначительное повышение давления в камере, обусловленное ограниченным горением вокруг воспламенителя;

- никаких признаков наличия верхней границы воспламеняемости для угольной пыли не наблюдается при исследованных концентрациях до 1000 г/м³.

Экспериментальные данные о взрываемости битуминозного угля Питтсбургского месторождения⁵, полученные в 20 л камере с применением химических воспламенителей с калориметрической энергией 1÷2,5 КДж приведены на рисунке 5.

Критерием воспламенения угольной пыли по методике Горного Бюро (США) являлось превышение показателя абсолютного давления величины 2 бар (200 кПа), и нижний предел взрываемости для пыли пласта Питтсбург составил около 100 г/м³ (рисунок 5). Эти данные были сопоставлены с полномасштабными (LST) взрывами. В исследовательской шахте для рассмотренной пыли Питтсбург НКПР находился в пределах 60-150 г/м³, поэтому с погрешностью 30-50% результаты определения НКПР в 20-литровых камерах можно считать соответствующими реальным [7]. Вместе с этим влияние дисперсного состава пыли в основных работах зарубежных авторов детально не исследовано [5,7].

3. Исследования параметров взрывоопасности для различного дисперсного состава пыли на стендовой базе ВНИИПО

В ранее выполненных работах [8,9] от-

5 Уголь пласта Питтсбург имеет выход летучих веществ около 33,6 %; По английской классификации - bituminous coal, soft coal. Битуминозный уголь в западной классификации - наиболее распространенный вид угля: черного цвета, мягкий, плотный с часто встречающимися блестящими и матовыми полосками. Имеет приблизительную теплоту сгорания 7-9 кВт/кг. Некоторые разновидности битуминозного угля используются для получения металлургического кокса.

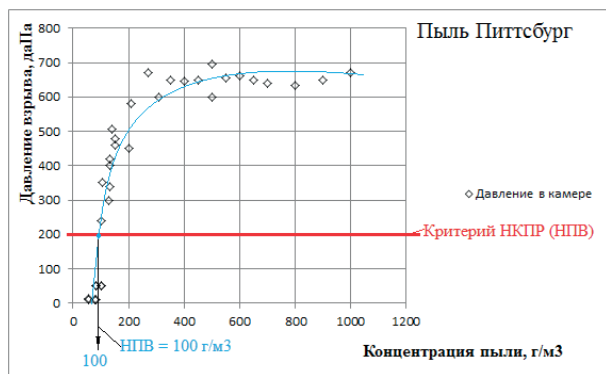


Рисунок 5 – Определение показателей взрывоопасности в 20-литровой камере по методике Горного Бюро США [7]

Figure 5 - Determination of explosion indicators in a 20-liter chamber according to the methodology of the US Bureau of Mines [7]

мечены факты существенного роста давления взрыва P при уменьшении диаметров частиц угольной пыли d_e . Авторами [8,9] приведены функциональные зависимости максимального давления взрыва от эквивалентного диаметра частиц $P_{max}=f(d_e)$ для угля с величиной выхода летучих веществ соответственно 10,5%; 17,5%; 24,0%; 34,5% и 40,5%. Отмечено, что для углей с высоким выходом летучих веществ максимальная взрывчатость пыли наблюдается при фракции 10 мкм. В нескольких случаях наблюдалось снижение взрывчатости при дальнейшем уменьшении частиц ($d_e < 10$ мкм). Лабораторные исследования фракций 600-300; 300-150; 150-75; 75-50; 50-30; 30-10 мкм дополнялись в штольне, где были сопоставлены взрывчатые свойства фракций 75-50 мкм с удельной поверхностью 3820 см²/г и фракции менее 10 мкм с удельной поверхностью 8970 см²/г, в ходе которых подтвержден рост взрывчатости мелкодисперсной пыли. Однако практический выход исследования сведен к выводу о том, что «взрывчатость угольной пыли растет с увеличением степени дисперсности, поэтому пыль в горных выработках шахты по мере удаления от источника пылеобразования является потенциально более взрывоопасной» [8, стр.24-26]. Аналогичные выводы получены в ряде зарубежных научных центров [5,6] и не подвергаются сомнению по прошествии значительного периода времени. Однако на нормативном уровне данный факт не нашел логического продолжения, влияние дисперсного состава на НКПР и скорость нарастания давления при взрыве dP/dt в данных работах не представлены. Учитывая то, что основные экспериментальные исследования в данной сфере проведены более полувека назад [5,7,8], назрела необходимость проведение комплекса аналогичных работ с учетом принципиально новых возможностей, открываемых современным научным оборудованием. В первую очередь необходимо отметить компьютерные системы фиксации и обработки данных по быстро текущим процессам в ходе взрыва, лазерные и электронно-микроскопические приборы контроля дисперсного состава частиц и комплекс оборудования по размолу и подготовке проб пыли для экспериментов с заданными характеристиками.

В рамках плановых НИР последнего периода ФГБУ ВНИИПО исследованы 58 образцов углей марок Д, Г, ДГ, Ж, К основных угледобывающих регионов. Исследована динамика физико-химических свойств угольных аэрозолей с применением микроскопического и термogravиметрического анализа, а также проведен

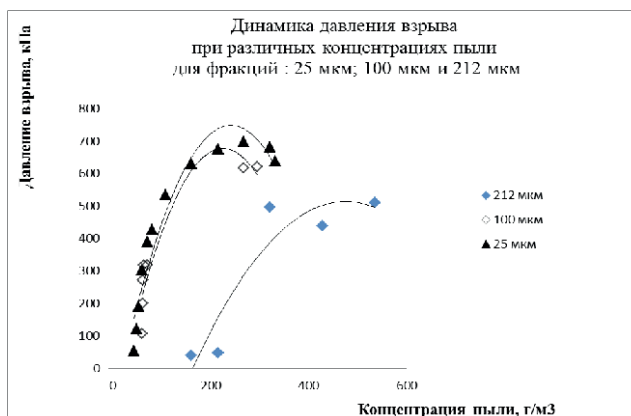


Рисунок 6 – Сопоставление кривых изменения давления взрыва для 3-х фракций пыли (уголь ДГ с)
 Figure 6 - Explosion pressure change curves comparison for 3 dust fractions (DGs coal)

цикл взрывных работ в камере объемом 20 л. Разработана концепция методики оперативного отбора проб и определения потенциальной взрывоопасности шахтной пыли в ходе ведения горноспасательных работ в условиях угрозы повторных взрывов.

Далее влияние дисперсного состава пыли на показатели взрывоопасности (НКПР, максимальное давление взрыва P_{max} , скорость нарастания давления dP/dt) рассмотрено на примере энергетической марки угля (ДГ) с выходом летучих веществ $V^{daf} = 37,3\%$.

Угольная пыль получена из одной пробы угля (с фиксированным значением зольности и влажности) путем размола и последующего отсева на ситах:

- 212 мкм – в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55660-2013 (далее – пыль Ø212);
- 100 мкм – в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.044-89 (далее – пыль Ø100);
- 25 мкм – исходя из экспериментальных данных по наиболее распространенным размерам частиц в отложившейся пыли применительно к высокопроизводительным лавам [6] (далее – пыль Ø25).

Изменения давления взрыва при росте концентрации пыли в 20-литровой камере для указанных выше трех фракций пыли (Ø212; Ø100; Ø25) приведено на рисунке 6.

Как видно из рисунка 6, с ростом дисперсности (или уменьшением диаметров частиц угольной пыли d_e) происходит существенный рост давления взрыва при равной концентрации пыли. Так для концентрации пыли 200 г/м³ аппроксимированное значение давления взрыва для пыли Ø212 составит 107 кПа, для пыли Ø100 – 660 кПа и для пыли Ø25 – более 710 кПа. Максимальные значения давления взрыва для фракций пыли Ø100 и Ø25 достигаются

при концентрациях около 300 г/м³ и составляют соответственно 621 кПа и 698 кПа. При данной концентрации пыли давление взрыва для пыли Ø212 существенно ниже и не превышает 500 кПа (рисунок 6).

НКПР (или НПВ) в данных экспериментах определялся по ГОСТ 12.1.044-89. Сопоставительные значения величин НКПР, максимального давления взрыва (P_{max}) и скорости нарастания давления при взрыве (dP/dt) приведены в таблице 1.

Как видно из данных таблицы 1, (строки 1-3 для фиксированного давления, обусловленного взрывом воспламенительной смеси на основе триоксида бария и алюминиевой пудры) уменьшение размеров частиц пыли приводит к монотонному снижению НКПР с 250 г/м³ до 45 г/м³ (пятикратное снижение). Поскольку прогрев более мелких частиц происходит быстрее, выход горючих летучих веществ в тонкодисперсной пыли происходит более интенсивно, чем обуславливается значительное увеличение (на порядок) скорости нарастания давления при взрыве. Максимальное давление взрыва также существенно возрастает (до 40 %) при снижении максимальных размеров частиц с 212 до 25 мкм (таблица 1).

Во всех сериях взрывных испытаний первоначально проводился взрыв химических воспламенителей при нулевой концентрации пыли, что позволяло определять «фоновое» значение избыточного давления, приносимое только за счет воспламенителей. В данных, приведенных в таблице 1 в строках 1-3 величина «фонового» значения избыточного давления при взрыве составляла 40 кПа, в строке 3 (эксперимент 2) соответствующее значение составило 29 кПа. Это вызвано снижением величины энергии воспламенителей с 2,5 кДж до 2,0 кДж в последнем

Таблица 1 – Значения показателей взрывоопасности для пыли различных фракций

Table 1 - Explosive hazard indicators values for various fraction dust

Максимальный размер частиц, мкм	НКПР (НПВ), г/м ³	P_{max} , кПа	dP/dt , кПа/с	Давление воспламенителя, кПа
212	250	470	3,0	40
100 (эксперимент 1)	58	581	20,0	40
25	45	658	30,9	40
100 (эксперимент 2)	66	555	16,7	29

эксперименте. Сопоставление строк 2 и 4 в таблице 1 позволяет выявить роль мощности первоначального воспламенителя на дальнейшее протекание взрыва. При взрывах в 20-литровых камерах так же, как и в полномасштабных (LST) взрывных экспериментах снижение энергии воспламенителя в определенных пределах может приводить к росту НКПР и снижению P_{max} .

Выводы.

1. Дисперсный состав пыли существенно влияет на все показатели ее взрывоопасности: при снижении размеров частиц от 100-212 мкм (по действующим нормативам) до величины реально отлагающихся в лавах и горных выработках частиц (1-25 мкм), происходит существенное снижение нижнего предела взрываемости. Так, для образца угля марки ДГ зафиксировано практически пятикратное снижение НКПР с 250 г/м³ до 45 г/м³. Также экспериментально подтвержден существенный (на 23-40%) рост максимального давления взрыва и скорость нарастания давления для мелкодисперсной пыли (в рассмотренном примере - практически на порядок), что

является характеристикой динамики дефлаграционного горения пыли.

2. Основные исследования в данной предметной области проведены 40-50 лет назад и требуют их целенаправленного возобновления с учетом принципиально новых возможностей современной лабораторной базы: современных средств измерений (датчиков) для быстротекущих процессов, систем компьютерного сбора и обработки данных, лазерных и микроскопических систем определения дисперсного состава пыли.

3. Несмотря на определенную разницу физики взрыва в лабораторных взрывных камерах и взрыва в разветвленной сети горных выработок, испытания во взрывных камерах являются одним из основных способов определения показателей взрывоопасности. Проведение взрывных экспериментов в 20-литровых камерах необходимо дополнять полномасштабными взрывными экспериментами (LST) в опытных шахтах для подтверждения достоверности результатов, а также получения соответствующих эмпирических коэффициентов и критериев подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования.
2. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. Правила безопасности в угольных шахтах: М.: Ростехнадзор (Приказ Ростехнадзора № 550 от 19.11.2013), зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 31.12.2013, № 30961.
4. ГОСТ Р 55660-2013 Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ. - М.: ФГУП «Стандартинформ». -2014.-17 с.
5. Cybulski W. Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Katowice, Wydaw. "Śląsk", 1973.- 451 с.
6. Лебецки К.А., Романченко С.Б. Пылевая взрывоопасность горного производства. –М.: Горное дело, 2012.-464 с.
7. Кэшдоллар К., Херцберг М. Камера объемом 20 л для исследования взрываемости порошков и газов. Ежемесячный журнал американского института физики. т.56, 1985, №4, с.108-115.
8. Петрухин П. М. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / П. М. Петрухин, М. И. Нецепляев, В. Н. Качан, В. С. Сергеев. – М. : Недра, 1974 – 302 с.
9. Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М.. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. М.: Недра, 1992. - 298 с.
10. EN 14034-3:2006. Определение характеристик взрывоопасности пылевых аэрозолей. Часть 3:

Определение нижнего предела взрывоопасности LEL аэрозолей.

REFERENCES

1. GOST 12.1.041-83. *Pozharovzryvobezопасnost goriuchikh pylei. Obshchie trebovaniya. [Fire and explosion safety of combustible dusts. General requirements]. [in Russian].*
2. GOST 12.1.044-89. *Sistema standartov bezопасnosti truda. Pozharovzryvobezопасnost veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelei i metody ikh opredelenia [Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination]. [in Russian].*
3. *Pravila bezопасnosti v ugolnykh shakhtakh [Safety rules in coal mines]. Moscow: Rostekhnadzor, oder No. 550 of 19.11.2013 [in Russian].*
4. GOST R 55660-2013. *Toplivo tverdoie mineralnoie. Opredelenie vykhoda letuchikh veshchestv [Solid mineral fuel. Determination of volatile matter]. Moscow: Standartinform (2014) [in Russian].*
5. Cybulski W. (1973). *Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Katowice, Wydaw. "Śląsk" [in Polish].*
6. Lebetki, K.A., & Romanchenko, S.B. (2012). *Pylevaia vzryvobezопасnost gornogo proizvodstva [Dust explosiveness hazard of mining production]. Moscow: Gornoie delo [in Russian].*
7. Cashdollar, K., & Herzberg, M. (1985). *Kamera obiemom 20 l dlia issledovaniia vzryvaemosti poroshkov i gazov [20 l chamber for powders and gases explosiveness research]. Ezhemesiachny zhurnal amerikanskogo instituta fiziki – American Physics Institute Monthly Magazine, v. 56, 4, 108-115 [in Russian].*
8. Petrukhin, P.M., Netsepliaev, M.I., Kachan, V.N., & Sergeev, V.S. (1974). *Preduprezhdenie vzryvov pyli v ugolnykh i slantsevykh shakhtakh [Dust explosions prevention in coal and slate mines]. Moscow: Nedra [in Russian].*
9. Netsepliaev, M.I., Libimova, A.I., & Petrukhin, P.M. (1992). *Borba so vzryvami ugolnoi pyli v shakhtakh [Coal dust explosion suppression in mines]. Moscow: Nedra [in Russian].*
10. EN 14034-3:2006 *Opredelenie kharakteristik vzryvobezопасnosti pylevykh aerozolei. Chast 3: Opredelenie nizhnego predela vzryvobezопасnosti LEL aerozolei [Dust aerosols explosion hazard factors determination. Part 3: LEL aerosols lower explosive limit determination] [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**





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

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



■ **А.А. Осипова // A.A. Osipova**

социальный педагог ГПОУ «КемПК», г. Кемерово, г. Кемерово, ул. Сарыгина, 17-6
social teacher of State professional educational institution "Kemerovo Pedagogical College", Kemerovo, Sarygin St., 17-6

УДК 622.2;331.462;331.452

ВЛИЯНИЕ СИНДРОМА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ НА УРОВЕНЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

EFFECT OF PROFESSIONAL BURNOUT SYNDROME ON PRODUCTION TRAUMATISM LEVEL AT COAL BRANCH INDUSTRY ENTERPRISES OF KEMEROVO REGION

В статье рассмотрена перспектива развития угольной отрасли России и аварийность на предприятиях отрасли. Приведена динамика роста объемов добычи угля. Аварийности и травматизма со смертельным исходом за 1997 – 2017 годы.

Отмечено, что основной причиной аварийности и травматизма на предприятиях угольной отрасли является человеческий фактор. Приведены факторы производственной среды и трудового процесса, оказывающие негативное влияние на стрессовое состояние работников угольных предприятий. Рассмотрена проблема оценки влияния негативных факторов на состояние здоровья работников предприятий угольной промышленности.

В работе приведены результаты комплексного социально-психологического исследования, проведенного в ОАО «Шахта Березовская», выявлен высокий процент работников, имеющих явные признаки синдрома профессионального или эмоционального выгорания, способствующий увеличению риска травмирования работников при выполнении ими технологических операций на предприятиях угольной промышленности.

The article considers the prospect of coal industry development in Russia and the accident rate at the industry enterprises. The dynamics of coal production growth is given. Fatal accidents and injuries for the years 1997 - 2017.

It is noted that the human factor is the main cause of accidents and injuries at coal enterprises. The factors of the production environment and the labor process, which have a negative impact on the stress state of coal enterprise employees, are given. Negative factors' impact on the health status of coal industry enterprises' employees assessing problem is considered.

The paper presents the results of a comprehensive socio-psychological study conducted at ОАО "Berezovskaya Mine", revealing a high percentage of workers who have obvious signs of a professional or emotional burnout syndrome, which increases the risk of injury to workers when they perform technological operations at coal enterprises.

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, АВАРИЙНОСТЬ, ТРАВМАТИЗМ, ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК, ВЛИЯНИЕ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ, ЗДОРОВЬЕ ШАХТЕРОВ

Key words: COAL INDUSTRY, ACCIDENT LEVEL, TRAUMATISM, PROFESSIONAL RISK, HARMFUL FACTORS IMPACT, MINERS' HEALTH

Мировые тенденции развития горнодобывающей промышленности определяются увеличением потребления полезных ископаемых, и в перспективе прогнозируется дальнейшее нара-

щивание объемов их добычи. Например, объемы добычи угля в России за последние 20 лет увеличились с 232,3 млн. тонн (1998 г.) до 439,3 млн. тонн в 2018 году. Основной угледобывающий регион страны Кузбасс за эти годы увеличил

добычу угля с 97,2 млн. тонн в 1998 году до 255,3 млн. тонн в 2018 году.

В соответствии с энергетической стратегией и долгосрочной программой развития угольной промышленности России предусматривается доведение годовой добычи угля к 2024 году до 569 млн. т. [1]. Соответственно в связи с увеличением объемов производства возрастает и риск производственного травматизма.

Согласно годовому отчету о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2017 г. удельный показатель смертельного травматизма с 1997 г. по 2017 г. существенно снизился. Однако, несмотря на общую тенденцию к снижению удельного показателя смертельного травматизма, Кемеровская область входит в список регионов с высоким уровнем смертельного травматизма, особенно на предприятиях угольной промышленности.

На предприятиях угольной отрасли Кузбасса в 2018 году произошло 127 несчастных случаев с тяжелым исходом, 12 несчастных случаев со смертельным исходом, в т. ч. 10 – на шахтах,

1 – на разрезе, 1 случай на обогатительной фабрике.

Результаты расследований несчастных случаев на предприятиях угольной отрасли говорят о том, что более чем в 90 % несчастных случаев причиной произошедшего является человеческий фактор [3 – 4].

Большинство рабочих мест в угольной отрасли связаны с производственными рисками: работники угольной промышленности при выполнении технологических операций на производстве регулярно испытывают на себе стресс от вредного воздействия факторов производственной среды и непосредственно самого трудового процесса. К таким факторам относятся:

- физические факторы (температура окружающей среды, низкий уровень освещения, высокий уровень шума, вибрации, высокая загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны и др.);

- химические факторы (высокая концентрация в воздухе различных вредных веществ, таких как: азота оксиды, серы диоксид, пропан, пропилен, углерода диоксид, этан, этилен, ме-

Таблица 1 - Динамика объемов добычи угля в России, производственного травматизма со смертельным исходом и аварийности за 1997–2017 годы

Table 1 - Dynamics of coal production in Russia, industrial fatal injuries and accidents from 1997–2017

Год	Объем добычи угля, млн т	Количество аварий	Количество смертельно травмированных, чел.	Удельный показатель смертельного травматизма, чел./млн т
1997	244,4	56	242	0,99
1998	232,3	54	139	0,60
1999	249,1	39	104	0,41
2000	254,2	343	115	0,45
2001	266,4	34	107	0,40
2002	234,2	27	83	0,35
2003	270,3	30	99	0,37
2004	284,5	33	148	0,52
2005	300,2	27	107	0,36
2006	294,1	23	68	0,23
2007	316,0	21	232	0,74
2008	319,47	12	53	0,16
2009	301,79	9	48	0,15
2010	323,18	22	135	0,41
2011	337,4	13	46	0,13
2012	355,2	16	36	0,10
2013	352,01	11	63	0,17
2014	358,2	8	26	0,07
2015	373,4	8	20	0,05
2016	385,7	8	56	0,14
2017	408,9	3	18	0,044

тан, углерода оксид, азот и др.);

- психо-физиологические факторы трудового процесса (тяжесть, монотонность работы, ненормированный рабочий график, вынужденная поза, повышенные нагрузки на органы сенсорного восприятия, эмоциональное напряжение).

Не все патологические изменения в организме работников от воздействия вредных и опасных факторов трудового процесса и рабочей среды на предприятиях угольной промышленности носят болевые ощущения и явно выраженные признаки.

Существует ряд заболеваний, имеющих под собой поведенческие, психологические и другие основания, к которым относится синдром профессионального выгорания – хроническое стрессовое состояние, вызванное профессиональной деятельностью.

Особое место в исследовании проблемы оценки влияния негативных факторов на состояние здоровья работников занимает изучение вопроса профессионального или эмоционального выгорания.

Производственные факторы, вызывающие стресс, называются психосоциальными рисками. По определению, представленному МОТ в 1984 году, они представляют собой «взаимодействие, с одной стороны, между производственной средой, содержанием труда и его организационными условиями, а, с другой стороны, между способностями, потребностями, культурой и личными внепроизводственными соображениями работников, которое может через восприятие и опыт влиять на состояние здоровья, производительность и удовлетворенность работой» [3]. Это определение подчеркивает динамический характер взаимодействия между производственной средой и человеческим фактором. Негативное взаимодействие между условиями труда и человеческим фактором может стать причиной эмоциональных нарушений, поведенческих проблем, биохимических и нервно-гормональных изменений, что, в свою очередь, создает повышенную опасность возникновения у работника психических или физических заболеваний, в частности развитие синдрома профессионального (эмоционального) выгорания.

В психологии такие известные исследователи, как В.В. Бойко, А.К. Макарова, С.П. Безносов и др. выделяют три стадии или фазы развития синдрома профессионального выгорания.

Первая стадия «напряжения» характеризуется возникновением нервного напряжения вследствие повышенной ответственности, на-

пряженной обстановки, хронической психоэмоциональной атмосферы. Симптомами развития синдрома профессионального образования на данной стадии являются:

- накопление раздражения, отчаяния, возмущения вследствие переживания психотравмирующих ситуаций;

- нарастание чувства разочарования в себе или профессии, занимаемой должности, неудовлетворенности собой или работой;

- возникновение состояния интеллектуального и эмоционального тупика, чувства безысходности. На этой стадии человек может остро воспринимать бюрократизм, человеческую непорядочность, рутинность и др.

- тревога и депрессия. Нарастает тревога, депрессивное состояние.

Вторая стадия «Соппротивление» (резистенция) характеризуется тем, что на этой стадии человек пытается оградить себя от неприятных событий. Его поведение на данной стадии отличается по следующим признакам:

- неадекватное избирательное реагирование, приводящие к недоразумениям с коллегами. Профессионал может с пренебрежением или оценыванием относиться к некоторым коллегам, характерны вспышки гнева, раздражения. Такое поведение носит неосознанный характер, как способ самозащиты. А окружающие могут воспринимать такое поведение, как неуважение к их личности;

- эмоционально-нравственная дезориентация проявляется в том, что профессионал исполняет обязанности в зависимости от настроения;

- "расширение сферы экономии эмоций" проявляется в том, что вследствие усталости на работе от контактов человек не хочет общаться дома с близкими или друзьями;

- "упрощение профессиональных обязанностей". Профессионал стремится либо облегчить, либо сократить обязанности, требующие эмоциональных затрат.

Третья стадия – истощение психических ресурсов, снижение эмоционального тонуса из-за неэффективности сопротивления. Будучи негативным последствием психологического стресса, переживание выгорания проявляется как физическое, эмоциональное истощение, как переживание субъективного неблагополучия – определенного физического или психологического дискомфорта:

- эмоциональный дефицит: у человека возникает ощущение, что эмоционально он не может помочь коллегам, а именно сопережи-

вать, побуждать усиливать интеллектуальную и волевою отдачу. Чаще профессионал испытывает отрицательные эмоции, например, раздражительность и др.;

- эмоциональная отстраненность. Обстоятельства как позитивные, так и негативные не вызывают эмоционального отклика. Профессионал начинает работать как робот;

- личностная отстраненность;

- нарушения, проявляющиеся на уровне физического и психического самочувствия [5 – 7].

С учетом того что психо-эмоциональное состояние работника оказывает влияние на его профессиональную деятельность, нами было проведено комплексное социально-психологическое исследование на предприятии ОАО «Шахта Березовская», которое является структурным подразделением АО «Угольная компания «Северный Кузбасс». Одним из направлений исследования в нашем анкетном опроснике было выявление среди опрашиваемых работников людей, с высоким уровнем профессионального выгорания, так как данный фактор ввиду своих проявления зачастую является причиной возникновения потенциально опасной с точки зрения производственного травматизма ситуации.

В опросе приняло участие 50 человек. Возрастной предел анкетироваемых сотрудников с 23 до 60 лет: с 23-х до 29-ти лет (7 чел.), с 30 – 60-ти и выше (2 чел.).

Согласно результатам исследования нами было выявлено, что 9 человек и всех опрашиваемых (18%) имеют признаки выраженного синдрома профессионального выгорания, у 22 человек (44%) потенциально может развиваться данное состояние, если они продолжать работать в существующих условиях труда.

Если учитывать возрастную группу, то среди работников возрастной категории 23 – 29

лет есть 1 работник, у которого потенциально может развиваться синдром профессионального выгорания. Это связано с тем, что у специалистов, впервые приступивших к выполнению своих профессиональных обязанностей, не хватает профессионального опыта и компетентности, что может вызывать определенные стрессовые состояния.

Среди опрашиваемых работников возрастной категории 30 – 39 лет было выявлено 3 специалиста с симптомами выраженного синдрома профессионального выгорания, и 7 опрашиваемых имели признаки развития данного психологического состояния. Это объясняется тем, что сотрудники уже наработали необходимый опыт для выполнения ежедневных задач, потеряли чувство новизны в работе, возможно, представители данной возрастной категории испытывают определенные индивидуальные кризисные состояния, связанные с переосмыслением своей жизни. Также это объясняется тем, что представители данной возрастной категории несут дополнительную ответственность за стажировку и обучение молодых специалистов, что является дополнительным стресс-фактором. Необходимо отметить, что в данной возрастной группе находится заместитель начальника Участка № 5 (30 лет) и у него выявились признаки развития синдрома профессионального выгорания.

По результатам анкетирования в возрастной группе 40 – 49 лет были выявлены 3 специалиста с симптомами выраженного синдрома профессионального выгорания, и 11 опрашиваемых имели признаки развития данного психологического состояния. В данном возрастном периоде организм работника испытывает сильные физические и психологические перегрузки, происходит постепенное угасание скорости реакции на окружающие раздражители, работник в полном объеме переживает такое состояние, как

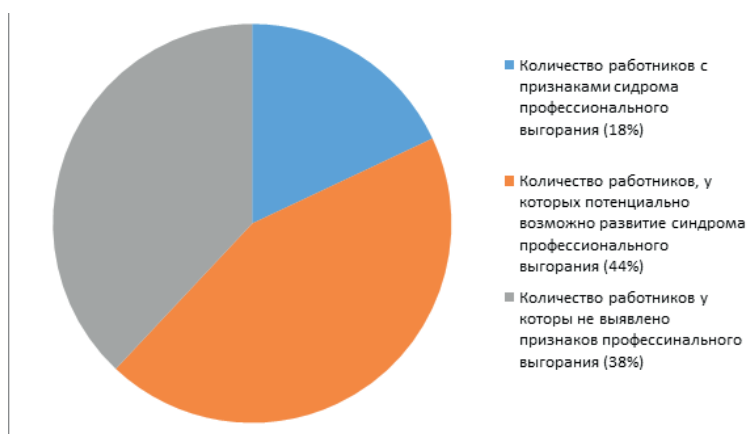


Рисунок 1 – Общее количество опрашиваемых работников
Figure 1 - Total number of workers interviewed

«кризис середины жизни». Состояние здоровья работников в данной возрастной группе заметно хуже, чем у представителей предыдущих возрастных групп, подтверждением этого являются положительные утверждения: «Чтобы восстановить силы, я часто принимаю лекарства» (15 респондентов в возрасте 40 – 49 лет ответили, что это полностью характерно для них).

Среди опрашиваемых в возрасте 40 – 49 лет было 6 руководителей различных структурных подразделений: начальник участка производственной службы, помощник начальника отдела аэрологической безопасности, начальник участка по добыче угля, заместитель начальника и главный инженер отдела ОГМ, заместитель директора по ОТ и ПК. Среди них было выявлено 2 специалиста с синдромом профессионального выгорания и 3 – с признаками развития синдрома. Это может объясняться тем, что на данных специалистах лежит ответственность как за качество производственного процесса, так и за жизнь и здоровье их подчиненных. Им необходимо учитывать и контролировать сразу множество параллельно идущих трудовых процессов, быстро реагировать на возникающие сложности в осуществлении производственной деятельности, возникающие неполадки производственного оборудования, а это является серьезным стрессовым фактором.

В возрастной группе 50 – 59 лет были выявлены: 1 специалист с признаками синдрома профессионального выгорания, 4 специалиста – с признаками развития данного психологического состояния. Среди опрашиваемых последней возрастной категории (от 60 лет и старше) был определен 1 специалист с синдромом профессионального выгорания. На наш взгляд, это связано с тем, что у данных специалистов есть достаточно богатый профессиональный опыт, это компетентные специалисты в своей отрасли, которые сталкивались за время своей трудовой деятельности с большим количеством нестандартных чрезвычайных ситуаций, с травмами раз-

личной степени тяжести, соответственно знают производственный процесс, его проблемные зоны и могут соответственно принять быстрое и правильное решение. С другой стороны, огромный опыт откладывает и негативный отпечаток на психику человека, работа давно превратилась в рутинный процесс, не приносит эмоционального удовлетворения, становится набором функций, все действия производятся автоматически.

По состоянию здоровья представителей данных возрастов можно разделить на две группы: те, у которых есть проблемы со здоровьем 6 человек ответили положительно на такие высказывания, как: «Бывает, что я плохо засыпаю (сплю) из-за переживаний, связанных с работой», «Чтобы восстановить силы, я часто принимаю лекарства», также отрицательно отвечают на утверждение «Обычно я прихожу на работу отдохнувшим, со свежими силами, в хорошем настроении») и есть те, которые таких проблем не имеют (5 специалистов).

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что среди респондентов на предприятии ОАО «Шахта Березовская» выявлен высокий процент сотрудников, имеющих явные признаки синдрома профессионального или эмоционального выгорания или же подверженных его возникновению. От этого, несомненно, страдает качество производственного процесса, увеличивается риск возникновения потенциально опасных ситуаций, которые впоследствии могут привести к травмированию или смерти сотрудников. В особенности это касается представителей административного аппарата, поскольку если руководитель подразделения подвержен сильнейшему стрессу и находится в состоянии апатии, эмоционально отстраняется от производственного процесса, он не в состоянии адекватно оценивать производственные риски и возникающие внештатные ситуации, от чего в свою очередь зависит жизнь и здоровье его подчиненных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24.01.2012 г. № 14-р.
2. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному контролю за 2017 год.
3. Международная конференция труда. Доклад VI: Нормотворческая деятельность МОТ в области безопасности и гигиены труда: углубленное рассмотрение с целью разработки плана действий в этой сфере. 91-я сессия 2003 г. Международное бюро труда. Женева. С. 1-128.
4. Фомин А.И. Причинно-следственные связи профессиональных рисков на предприятиях угольной отрасли Кузбасса / А.И. Фомин, А.Ф. Павлов, В.Б. Попов, М.Н. Малышева // Безопасность труда в промышленности. – Москва, – № 1, – 2017 – С. 74-82.
5. Борисенков Р.В., Матюхин Г.И. Труд и здоровье горнорабочих, М., – 2001, - С. 315.
6. Кочеткова А.И. Психологические основы современного управления персоналом. – М.201.

7. Чеботарёв А.Г. Интегральная оценка условий труда горнорабочих при подземных работах / А.Г. Чеботарев// Бюллетень Научного Совета «Медико-биологические проблемы работающих», №1/2003, С. 33-36.

REFERENCES

1. Dolgosrochnaia programma razvitiia ugolnoi promyshlennosti Rossii na period do 2030 goda. Rasporiazhenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 24.01.2012 g. № 14-r. [The long-term program for the development of the coal industry in Russia for the period up to 2030. Order of the Government of the Russian Federation of January 24, 2012 No. 14-r]. [in Russian]
2. Godovoi otchet o deiatel'nosti Federalnoi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskom i atomnomu kontroliu za 2017 god. [Annual report on the activities of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service for 2017]. [in Russian].
3. Mezhdunarodnaia konferentsia truda. Doklad VI: Normotvorcheskaia deiatel'nost MOT v oblasti bezopasnosti i gigieny truda: uglublennoe rassmotrenie s tseliu razrabotki plana deistvii v etoi sfere. 91-ia sessiia 2003 g. Mezhdunarodnoe biuro truda. Zheneva. S. 1-128. [International Labor Conference. Mezhduarodnoe biuro truda. Zheneva. S. 1-128. [International Labor Conference.
4. Fomin, A.I., Pavlov, A.F., Popov, V.B., & Malysheva, M.N. (2017). Prichinno-sledstvennyye svyazi professionalnykh riskov na predpriatiakh ugolnoi otrasli Kuzbassa [Causal relationships of occupational risks at the enterprises of the coal industry of Kuzbass]. Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety, Moscow, 1, 74-82 [in Russian].
5. Borisenkov R.V., & Matiukhin, G.I. (2001). Trud i zdorovie gornorabochikh [Labor and health of the mining workers]. Moscow [in Russian].
6. Kochetkova, A.I. (). Psikhologicheskiye osnovy sovremennogo upravleniia personalom [Psychological foundations of modern personnel management]. Moscow [in Russian].
7. Chebotarev, A.G. (2003). Integralnaia otsenka uslovii truda gornorabochikh pri podzemnykh rabotakh]. Bulletin of the Scientific Council "Biomedical problems of workers", №1 / 2003, p. 33-36 [in Russian].

GaSense V
Портативный газоанализатор

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

Индикация
Высококонтрастный LCD дисплей

Управление
Рельефная силиконовая клавиатура, большие удобные кнопки

Док-станция
Заряд аккумуляторной батареи и передача данных на компьютер

CardioLight
Интеллектуальная система оповещения о состоянии атмосферы

Время работы без подзарядки
до 150 часов

Запись результатов измерений в энергонезависимую память

Надежное и удобное крепление

Звуковая сигнализация при превышении ПДК

Силиконовый чехол

andsafe.ru



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 «ScS VostNIi», 3, Institutskaya Str., Kemerovo, 650002, Russia



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

аспирант ФГБОУ ВО «КемГУ», Россия, 650056, г. Кемерово, б-п Строителей, д. 47, корпус 7
postgraduate of FGBOU VO "KGU", Stroiteley Ave., 47 – 7, Kemerovo, 650056, Russia

УДК 622:331.45:614.84

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПОСОБА ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

COAL INDUSTRY ENTERPRISE EMPLOYEES' FIRE SAFETY EVALUATION METHOD ANALYTICAL MODEL

В статье изложены подходы к моделированию способа оценки уровня пожарной безопасности работников, находящихся в зданиях, сооружениях административного и производственного назначения поверхностных комплексов предприятий по добыче и переработке угля. Предложена аналитическая модель предлагаемого способа оценки состояния пожарной безопасности работников на предприятиях угольной отрасли. Установлен коэффициент пожарной безопасности, построена аналитическая трехмерная модель коэффициента пожарной безопасности. Представлена аналитическая модель предлагаемой методики обеспечения работников средствами спасения с высоты при возникновении пожара в зданиях поверхностных комплексов предприятий угольной промышленности. Определено минимально необходимое количество средств спасения работников с высоты при пожаре в зданиях в зависимости от их характеристик на одного работника и построены трехмерные модели для канатно-спусковых устройств с автоматическим и ручным регулированием скорости спуска и навесных спасательных лестниц.

The article outlines approaches to the workers who are in the buildings and structures for administrative and production purposes of coal mining and processing enterprises' surface complexes fire safety level assessing method modeling. An analytical model of the proposed method for assessing the fire safety of workers at coal industry enterprises is suggested. The fire safety coefficient was established, and the fire safety coefficient analytical three-dimensional model was built. The analytical model of the proposed method for providing workers with height rescue equipment in case of fire at surface buildings' complexes of coal industry enterprises is presented. The minimum amount of workers rescue means from height in case of fire in buildings is determined, depending on their characteristics per employee, three-dimensional models for rope descending devices with automatic and manual control of descent speed and hang-on rescue ladders are built.

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, СРЕДСТВА СПАСЕНИЯ С ВЫСОТЫ, УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ, УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ

Key words: COAL INDUSTRY, LABOR PROTECTION, FIRE SAFETY, HEIGHT RESCUE EQUIPMENT, SECURITY LEVEL, PRODUCTION RISKS MANAGEMENT.

Введение
Для определения области применения и установления целесообразности использования предлагаемого способа оценки пожарной безопасности работников и методики социально-экономического выбора средств спасения персонала из зданий и сооружений угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий необходимо провести ряд исследований на основе аналитических моделей [1 – 4].

Аналитический способ моделирования со-

стоит из двух основных этапов:

- построение схемы исследуемого объекта;
- построение математического описания данной схемы.

Принципиальные проблемы моделирования решаются на первом (неформальном) этапе, а второй является процедурой преобразования форм представления моделей, что позволяет разработать и использовать различные компьютерные программы автоматизации составления уравнений по схемам.

Таблица 1 – Значения коэффициента пожаробезопасности K в зависимости от времени выхода работников в безопасную зону и расчетного времени наступления опасных факторов пожара
 Table 1 - K fire safety coefficient values depending on the workers entering safe area time and estimated time of fire hazards factors occurrence

$t_{\text{в}}$, мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	-9,00	-4,00	-2,33	-1,50	-1,00	-0,67	-0,43	-0,25	-0,11	0,00
9	-8,00	-3,50	-2,00	-1,25	-0,80	-0,50	-0,29	-0,13	0,00	0,10
8	-7,00	-3,00	-1,67	-1,00	-0,60	-0,33	-0,14	0,00	0,11	0,20
7	-6,00	-2,50	-1,33	-0,75	-0,40	-0,17	0,00	0,13	0,22	0,30
6	-5,00	-2,00	-1,00	-0,50	-0,20	0,00	0,14	0,25	0,33	0,40
5	-4,00	-1,50	-0,67	-0,25	0,00	0,17	0,29	0,38	0,44	0,50
4	-3,00	-1,00	-0,33	0,00	0,20	0,33	0,43	0,50	0,56	0,60
3	-2,00	-0,50	0,00	0,25	0,40	0,50	0,57	0,63	0,67	0,70
2	-1,00	0,00	0,33	0,50	0,60	0,67	0,71	0,75	0,78	0,80
1	0,00	0,50	0,67	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90

Так как необходимо учитывать свойства объекта, а именно обеспечения персонала средствами спасения с высоты, следует построить экспериментальную модель реально существующего объекта (производственного или административного здания, сооружения шахты, разреза, обогатительной фабрики), который физически не может быть приведен к требованиям, установленным нормативно-правовыми актами Российской Федерации. Исходя из наихудших условий, в данных зданиях опасные производственные факторы пожара наступают значительно быстрее, чем может быть проведена эвакуация персонала из горящего здания. Вместе с этим необходимо определить временные затраты на расчет обеспечения безопасности работников в случае возникновения опасных производственных факторов и социально-экономическую эффективность выбранных средств спасения.

Аналитическая модель предлагаемого способа оценки пожарной безопасности работников на предприятиях угольной промышленности

На основе вышеприведенных принципов моделирования построим аналитическую модель предлагаемого способа оценки пожарной безопасности объекта (производственного или административного здания, сооружения шахты,

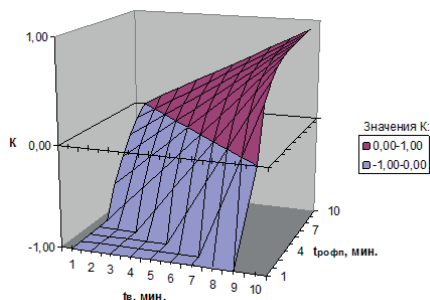


Рисунок 1 – Диаграмма аналитической трехмерной модели коэффициента пожаробезопасности K
 Figure 1 - Fire safety coefficient K analytical three-dimensional model diagram

разреза, обогатительной фабрики).

Для построения данной модели рассмотрим равенство оценки качественного показателя эвакуации работников:

$$K = 1 - \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{рофп}}} \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – время выхода работников в безопасную зону или места возможного применения средств спасения до наступления опасных факторов пожара, мин.; $t_{\text{рофп}}$ – время, которое возможно предварительно рассчитать для типичных объектов, от начала пожара до наступления опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения, мин.

Подставив временные значения во время выхода работников в безопасную зону и расчетное время наступления опасных факторов пожара, можно получить значения коэффициента пожаробезопасности, приведенные в таблице 1

Используя значения таблицы 1, построим аналитическую трехмерную модель коэффициента пожаробезопасности K .

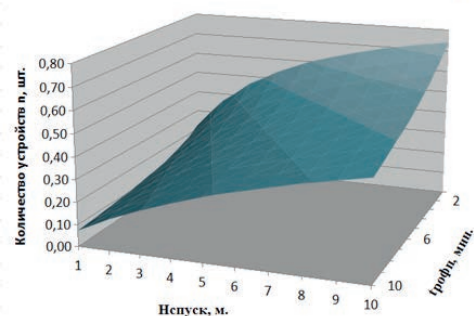


Рисунок 2 – Диаграмма аналитической трехмерной модели минимально необходимого количества канатно-спусковых устройств с автоматическим регулированием скорости спуска на одного работника

Figure 2 - Diagram of the analytical three-dimensional model of the least required number of rope descending devices with descent speed automatic control per one worker

Таблица 2 – Характеристики средств спасения
Table 2 - Rescue equipment characteristics

Тип устройства	Канатно-спусковые устройства с автоматическим регулированием скорости спуска	Канатно-спусковые устройства с ручным регулированием скорости спуска	Лестницы навесные спасательные	Прыжковые средства спасения (пневматические маты)	Спасательные устройства на базе эластичного рукава	Спасательные устройства на базе спирального рукава	Трапы, желоба
$t_{подр}^*$ мин.	1	1,5	1	0,5	0,3	0,3	0,3
$t_{актив}^*$ мин.	1,5	2,5	1	5,5	1,5	1,5	2
$V_{спуск}^*$ м/с	1	2,5	0,3	Свободное падение*	2,0*	0,5*	3,0*
				*2 чел. в мин.	*10 чел. в мин.	*5 чел. в мин.	*5 чел. в мин.

Таблица 3 – Минимально необходимое количество канатно-спусковых устройств с автоматическим регулированием скорости спуска на одного работника
Table 3 – The least required number of rope descending devices with descent speed automatic control per one worker

$t_{рофп, ин.}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$H_{спуск, м}$
10	0,07	0,14	0,19	0,24	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	
9	0,08	0,15	0,21	0,26	0,30	0,34	0,38	0,41	0,44	0,47	
8	0,09	0,16	0,22	0,28	0,32	0,36	0,40	0,43	0,46	0,49	
7	0,10	0,17	0,24	0,30	0,34	0,39	0,42	0,46	0,49	0,51	
6	0,11	0,19	0,26	0,32	0,37	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	
5	0,12	0,21	0,29	0,35	0,40	0,44	0,48	0,52	0,55	0,57	
4	0,13	0,24	0,32	0,38	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,61	
3	0,15	0,27	0,35	0,42	0,48	0,52	0,56	0,59	0,62	0,65	
2	0,18	0,31	0,40	0,47	0,53	0,57	0,61	0,64	0,67	0,69	
1	0,22	0,36	0,46	0,53	0,59	0,63	0,67	0,70	0,72	0,74	

Таблица 4 – Минимально необходимое количество канатно-спусковых устройств с ручным регулированием скорости спуска на одного работника
Table 4 – The least required number of rope descending devices with descent speed manual control per one worker

$t_{рофп, мин.}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$H_{спуск, м}$
10	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,33	
9	0,04	0,09	0,13	0,16	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,35	
8	0,05	0,09	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	
7	0,05	0,10	0,15	0,19	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	
6	0,06	0,11	0,16	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,40	0,43	
5	0,06	0,12	0,18	0,23	0,27	0,32	0,36	0,39	0,43	0,46	
4	0,07	0,14	0,20	0,25	0,30	0,35	0,39	0,43	0,47	0,50	
3	0,08	0,15	0,22	0,28	0,33	0,38	0,43	0,47	0,51	0,55	
2	0,09	0,18	0,25	0,32	0,38	0,43	0,48	0,52	0,56	0,60	
1	0,11	0,21	0,29	0,36	0,43	0,49	0,54	0,59	0,63	0,67	

Таблица 5. – Минимально необходимое количество навесных спасательных лестниц на одного работника
Table 5. – The least required number of hang-on rescue ladders per one worker

$t_{рофп, мин.}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$H_{спуск, м}$
10	0,22	0,36	0,45	0,53	0,58	0,63	0,66	0,69	0,71	0,74	
9	0,23	0,38	0,48	0,55	0,60	0,65	0,68	0,71	0,73	0,75	
8	0,25	0,40	0,50	0,57	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	
7	0,27	0,43	0,53	0,60	0,65	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	
6	0,29	0,45	0,56	0,63	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79	0,81	
5	0,32	0,49	0,59	0,66	0,70	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	
4	0,36	0,53	0,63	0,69	0,74	0,77	0,80	0,82	0,83	0,85	
3	0,40	0,57	0,67	0,73	0,77	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	
2	0,45	0,63	0,71	0,77	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	
1	0,53	0,69	0,77	0,82	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	

Из данной аналитической модели видно, что при значениях коэффициента пожаробезопасности K выше нуля безопасность работников считается обеспеченной [5, 6].

Аналитическая модель предлагаемой методики обеспечения работников средствами спасения с высоты при возникновении пожара

С учетом требований по моделированию построим аналитическую модель предлагаемой методики обеспечения работников предприятий угольной отрасли средствами спасения с высоты, при возникновении пожара. Для построения модели данной методики используем следующую формулу определения минимально необходимого количества средств спасения в зависимости от расчетных значений наступления опасных факторов с учетом коэффициента пожаробезопасности K :

$$n = \frac{[t_{\text{подг}} + (H_{\text{спуск}}/V_{\text{спуск}})] \cdot N}{t_{\text{рофп}} \cdot (1-K) + t_{\text{подг}} + (H_{\text{спуск}}/V_{\text{спуск}}) + t_{\text{актив}}}, \quad (2)$$

где n – количество спасательных устройств одного типа, шт.;

N – расчетное количество работников, не имеющих возможности покинуть сооружение в штатном режиме, чел.;

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

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

$H_{\text{спуск}}$ – высота спуска (равная количеству этажей, умноженная на высоту этажа), м;

$V_{\text{спуск}}$ – скорость спуска, м/мин.;

$t_{\text{рофп}}$ – время, которое возможно предварительно рассчитать для типичных объектов от начала пожара до наступления опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для персонала значения, мин.

В данное выражение будут подставлены значения характеристик соответствующих средств спасения, приведенных в таблице 2. Так как построение модели будет осуществляться для одного работника и с учетом минимально необходимого количества средств спасения, то значение N принимается равным 1 и значение коэффициента пожаробезопасности K принимается равным 0.

Подставив значения таблицы 2. в выражение 2, получим построение табличных и трехмерных моделей минимально необходимого количества канатно-спусковых устройств с автоматическим и ручным регулированием скорости

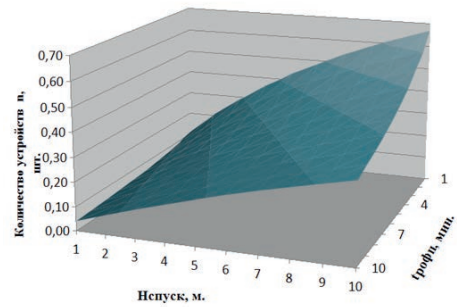


Рисунок 3 – Диаграмма аналитической трехмерной модели минимально необходимого количества канатно-спусковых устройств с ручным регулированием скорости спуска на одного работника

Figure 3 - Diagram of the analytical three-dimensional model of the least required number of rope descending devices with manual descent speed control per one worker

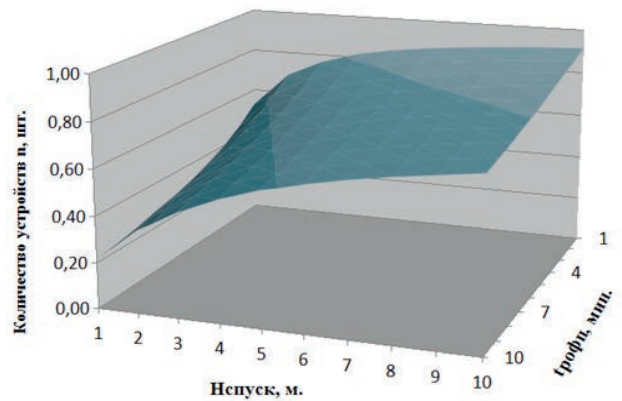


Рисунок 4 – Диаграмма аналитической трехмерной модели минимально необходимого количества навесных спасательных лестниц на одного работника

Figure 4 - Diagram of the analytical three-dimensional model of the least required number of hang-on rescue ladders per one worker

спуска, лестниц навесных спасательных на одного работника, приведенных в таблицах 3 – 5 и рисунках 2 – 4.

Вывод

Из данных аналитических моделей видно, что выбор минимально необходимого количества средств спасения работников при пожаре с высоты не имеет линейное значение, т. е. приблизительно подобрать средства спасения не представляется возможным, значения будут грубыми, что может привести к негативным последствиям (травмам, гибели работников). Данное подтверждает необходимость проведения соответствующих математических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гловацкая А.П. Методы и алгоритмы вычислительной математики: Учебное пособие для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1999. 408 с.
2. Бронштейн И.Н. Справочник по высшей математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
3. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. 288 с.
4. Голик Е.С., Афанасьева О.В. Теория и методы статистического прогнозирования: Учебное пособие. СПб: Изд-во СЗТУ, 2007. 182 с.
5. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Госстандарт России, 2002. 52 с.
6. ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1981. 31 с.

REFERENCES

1. Glovatskaia, A.P. (1999). *Metody i algoritmy vychislitelnoi matematiki: uchebnoie posobie dlia VUZov* [Methods and algorithms of computational mathematics: A manual for high schools]. Moscow:Radio i sviaz [in Russian].
2. Bronshtein, I.N. (1986). *Spravochnik po vysshei matematike dlia inzhenerov i uchashchikhsia vtuzov* [Handbook of higher mathematics for engineers and students of technical colleges].Moscow: Nauka [in Russian].
3. Granovskaia, V.A., & Siraia T.N. (1990). *Metody obrabotki ehksperimentalnykh dannykh pri izmereniiakh* [Methods for processing experimental data in measurements]. Leningrad:Energoatomizdat [in Russian].
4. Golik, Ye.S., & Afanasieva, O.V. (2007). *Teoriia i metody statisticheskogo prognozirovaniia: Uchebnoie posobie* [Theory and methods of statistical forecasting: Students' manual]. Sankt-Petersburg: SZTU [in Russian].
5. GOST R 51901-2002 (2002). *Upravleniie nadezhnostiu. Analiz riska tekhnologicheskikh system* [Reliability management. Risk analysis of technological systems].Moscow: Gosstandart Rossii [in Russian].
6. GOST 15467-79 (ST SEV 3519-81). (1981). *Upravlenie kachestvom produktsii. Osnovnyie poniatii. Termini i opredeleniia* [Product quality management. The basic concepts. Terms and Definitions].Moscow: Izdatelstvo standartov [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 VostNIi», 3, Institutskaya Str., Kemerovo, 650002, Russia



■ **Т.В. Грунској // T.V. Grunskoj**

старший преподаватель ФГБОУ ВПО "Ухтинский государственный технический университет", Россия, 169300, г. Ухта, ул. Первомайская, 13
senior lecturer of FGBOU VPO "Ukhta State Technical University, 3, Pervomayskaya Str. Uhta, 169300, Russia

УДК 622.2; 622.87; 613.6.02; 613.62

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ НА НЕФТЯНЫХ ШАХТАХ

IMPROVING THE SYSTEM OF PROFESSIONAL RISK MANAGEMENT IN OIL MINES

В статье рассмотрена существующая система управления охраной труда на трех нефтедобывающих шахтах Ярегского месторождения высоковязкой нефти. Выявлено – рабочие места подземной группы работников, занятых в технологических процессах нефтяных шахт не соответствуют гигиеническим нормативам. Вредные и опасные производственные факторы рабочей среды и трудового процесса воздействуя на работников оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье, способствуют формированию и развитию производственно-обусловленных и профессиональных заболеваний.

Предложен алгоритм управления охраной труда при термошахтном способе добычи высоковязкой нефти. Рассмотрен вопрос информационного обеспечения управления профессиональными рисками на шахте.

При рассмотрении вопроса проходки горных выработок двумя способами: механизированным и буровзрывным, дана оценка уровня риска возникновения профессиональных заболеваний у проходчика и машиниста горных выемочных машин, в зависимости от стажа работы во вредных условиях и вида профессионального заболевания.

Представлено информационное обеспечение системы управления профессиональными рисками, разработана индивидуальная карта риска развития профессионального заболевания.

The article considers the existing labor protection management system at the three oil-extracting mines of the Yarega high-viscosity oil field. It was revealed that the workplaces of the underground group of workers employed in technological processes of oil mines do not meet hygienic standards. Harmful and dangerous production factors of the working environment and the labor process affecting workers have adverse effects on health, contribute to the formation and development of work-related and occupational diseases.

An algorithm is proposed for managing labor protection in the case of a thermo-mining method of extracting high-viscosity oil. The issue of information support for the management of occupational risks at the mine was considered.

When considering the issue of excavation of mine workings in two ways: mechanized and drilling and blasting, an assessment was made of the level of risk of occupational diseases in the driver and mining excavator machines, depending on the length of service in hazardous conditions and the type of occupational disease. The information support of the occupational risk management system is presented, an individual risk map for the development of an occupational disease has been developed.

Ключевые слова: НЕФТЯНЫЕ ШАХТЫ, ТЕРМОШАХТНЫЙ СПОСОБ ДОБЫЧИ НЕФТИ, УСЛОВИЯ ТРУДА, ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ, УПРАВЛЕНИЕ, ОХРАНА ТРУДА, КАРТЫ РИСКА

Key words: OIL MINES, THERMO-MINING METHOD OF OIL PRODUCTION, WORKING CONDITIONS, OCCUPATIONAL MORBIDITY, MANAGEMENT, LABOR PROTECTION, RISK MAPS

Существующая система управления профессиональными рисками на трех нефтедобывающих шахтах Ярегского месторождения сохраняется

высокий уровень профессиональной заболеваемости работников, занятых в технологических процессах при термошахтной добыче нефти, а это подтверждает недостаточность проводимых

мероприятий по сохранению здоровья и снижению воздействия вредных и опасных производственных факторов. Работники подземной группы, при выполнении трудовых функций, как правило, подвергается комбинированному воздействию негативных факторов производственной среды. Значит, высокий уровень профессиональной заболеваемости подземных работников обусловлен низкой эффективностью функционирования системы управления охраной труда, для повышения которой требуется изменение в части оценки профессиональных рисков.

На специалистов службы охраны труда (ОТ) возложены обязанности по организации и разработке системы управления охраной труда [1], которая включает в себя оценку и управление профессиональными рисками [2 – 4]. Специалисты службы ОТ нефтедобывающих шахт обязаны определять и систематически корректировать направления развития системы управления профессиональными рисками в организации на основе мониторинга изменений в состоянии здоровья, условий труда и технического переоснащения организации [1 - 6].

В системе управления охраной труда на нефтедобывающих шахтах тяжелой нефти сегодня используются данные государственной и корпоративной оценки риска, но сведения об изменении состояния здоровья персонала по стажу и индивидуальным особенностям человека не учитываются (рис. 1).

Алгоритм гигиенической оценки профессиональных рисков подземной группы работников в системе управления охраной труда в настоящее время не учитывает основные важные составляющие: условия труда, уровень профессиональной заболеваемости и патологические изменения состояния здоровья. Отсюда возникает

вывод – мероприятия по охране труда дублируют друг друга по рабочим местам и структурным подразделениям нефтедобывающих шахт, отсутствует индивидуальный подход, формируются без учета отклонений в состоянии здоровья работников и производственных рисков.

Методы оценки профессионального риска, осуществляемые в настоящее время, позволяют получить только общее представление о воздействии вредных и опасных производственных факторов (ВПФ и ОПФ), вероятности получения профессионального заболевания, сочетательном воздействии производственных факторов. Отдельные и зачастую малоэффективные методы оценки профессионального риска не объединены в единую систему управления охраной труда нефтяной шахты. Прогрессивные методы используются в ограниченных масштабах, а фрагментарная статистика профессиональных рисков затрудняет разработку и применение современных механизмов управления.

Решения вопросов, связанных с сохранением здоровья работников при строительстве и эксплуатации нефтедобывающих шахт, при техническом перевооружении и увеличении производительности труда требуют выполнения гигиенической оценки условий труда и расчета риска профессиональной заболеваемости работников, занятых термощахтной добычей высоковязкой нефти и изучения закономерностей изменений в системах организма человека при воздействии вредных фактов и стажа работы для оценки риска развития обусловленных изменений в организме работников. Это требует совершенство-

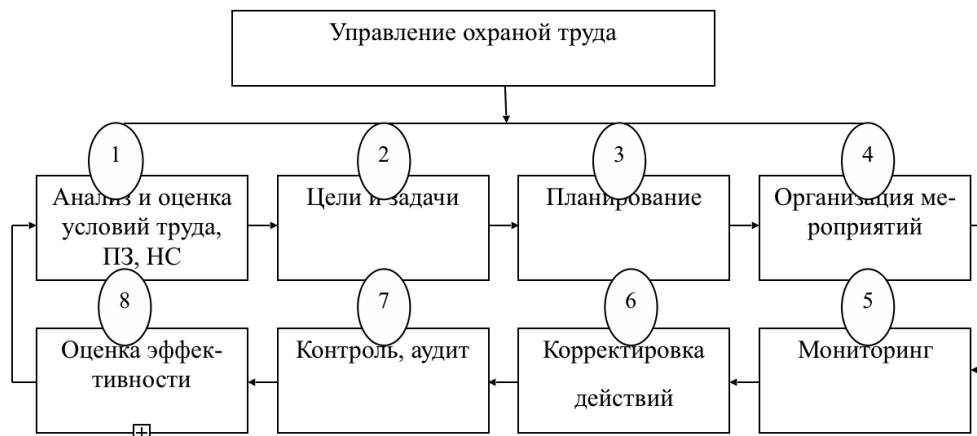


Рисунок 1 – Существующая система управления элементами охраны труда на предприятии
 Figure 1 - The existing system of management elements of labor protection in the enterprise

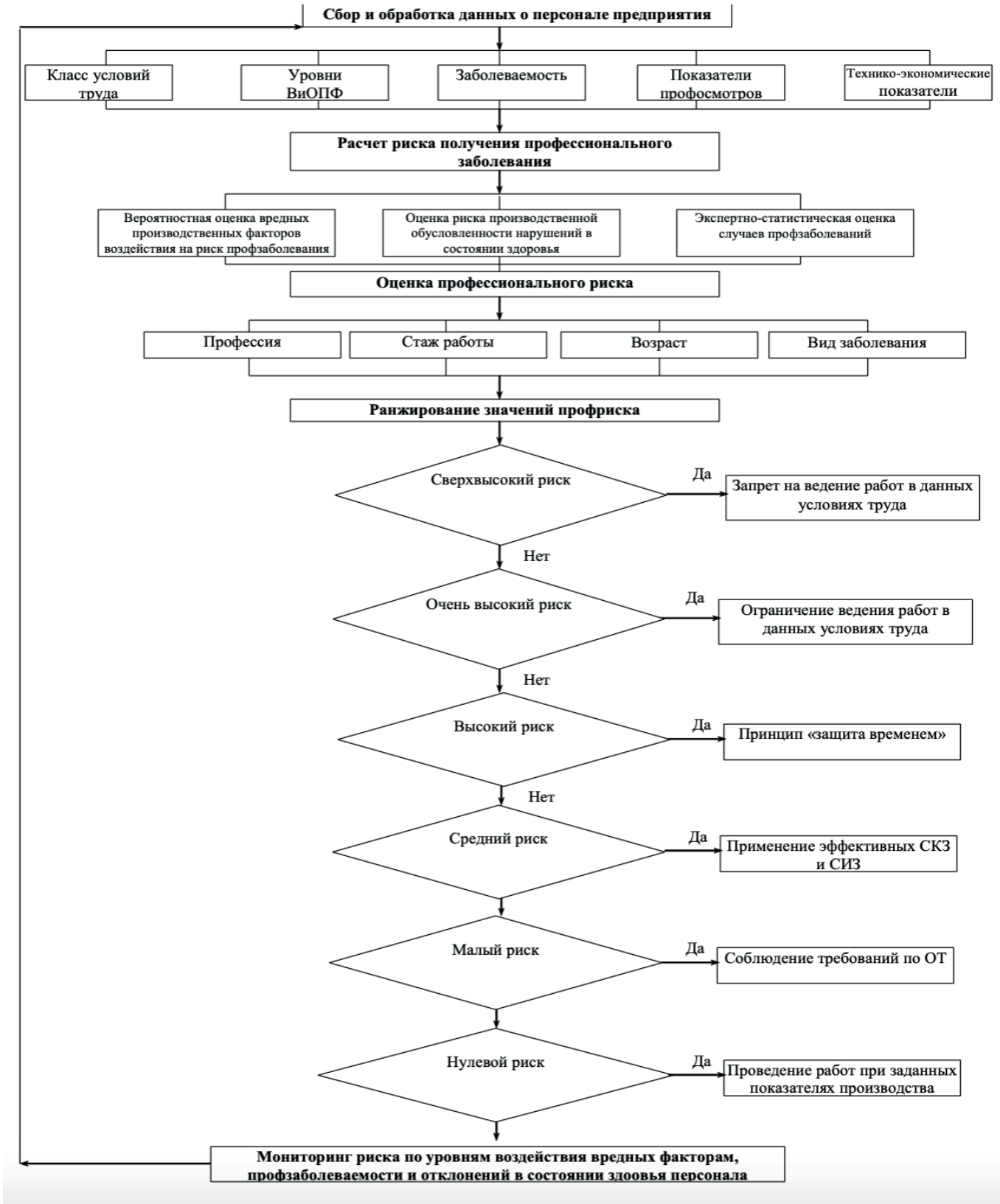


Рисунок 2 – Алгоритм комбинированной оценки риска получения и развития профессиональных заболеваний с ранжированием критериев для системы управления охраной труда при термошахтном способе добычи тяжелой нефти

Figure 2 - Algorithm of a combined risk assessment of the receipt and development of occupational diseases with ranking of criteria for the labor protection management system in the case of the thermo-mining method of heavy oil production

вания системы управления оценкой развития профессиональных заболеваний на основе до-нозологической диагностики. Поэтому является актуальным прогнозирование профессионально обусловленных изменений состояния здоровья фактором риска, приводящих к возникновению заболевания при выполнении технологических операций по добыче высоковязкой нефти термошахтным способом.

Алгоритм управления профессиональными рисками

Оценив риск развития профессиональных заболеваний появляется возможность разработать алгоритм управления в системе охраны труда нефтедобывающих шахт.

Оценка риска развития профессионально-го заболевания в системе управления охраной труда служит инструментом учета, анализа и индикатором технического и социального состояния в условиях интенсификации производственных процессов, является одним из критериев сравнительной оценки технического перевооружения средств труда, показателем эффективности проводимых мероприятий и полноты их реализации, основой выбора возможных вариантов развития производства и ожидаемых показателей на перспективу развития разработки месторождений тяжелой нефти термошахтным способом.

Достоинством модели является оценка обобщенного показателя риска получения профессионального заболевания, характеризующе-

го комплексное воздействие производственных факторов для определенных профессий и при заданной производительности труда. Это позволяет не только систематизировать данные по риску и стажу, но и изучить состояние производственной среды при различных способах ведения технологического процесса. (рис. 2).

Разработанный алгоритм, положен в основу совершенствования системы управления охраной труда (СУОТ), а полученные результаты позволяют проводить мониторинг показателей риска возникновения профессиональных заболеваний и ранжирование удельных показателей риска, что позволяет научно обосновать профессиональные группы риска профессиональной заболеваемости работников и снизить воздействие вредных производственных факторов по их приоритетности в системе.

Применение комплексных показателей риска позволяет повысить эффективность управления охраной труда в различных временных интервалах производственного процесса, появляются механизмы обоснования групп работников по приоритетности получения профессиональных заболеваний в зависимости от стажа работы во вредных условиях нефтедобывающих шахт.

Изменение технологии и техническое перевооружение средств производства без опережающего преобразования функций системы управления охраной труда не дают положитель-

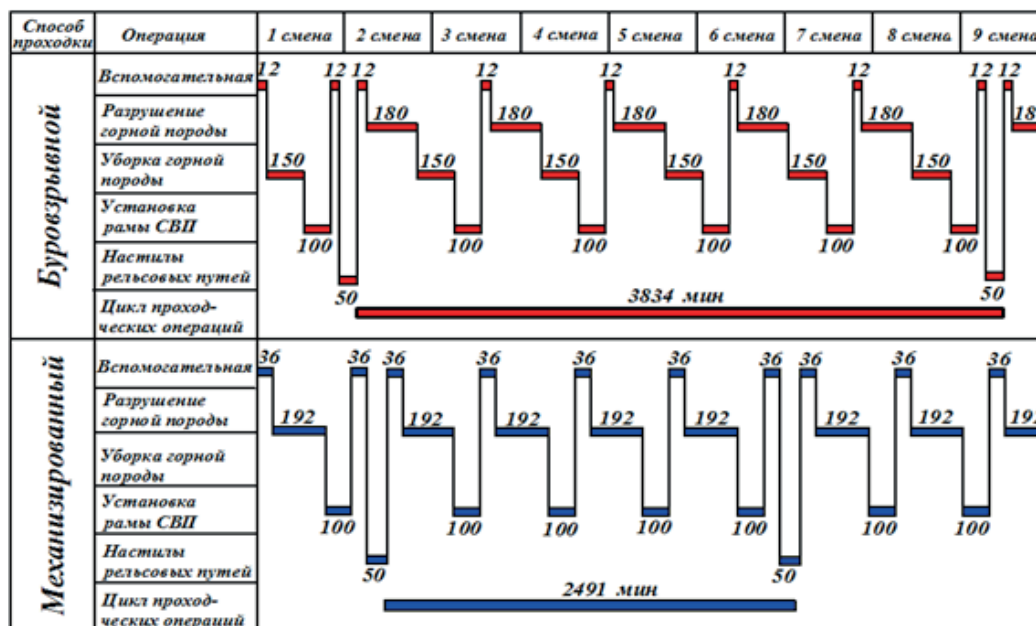


Рисунок 3 – Циклограмма проходки горных выработок буровзрывным и механизированным способами
 Figure 3 - The sequence diagram of excavation of drilling and blasting and mechanized methods

Таблица 1 – Оценка уровня риска возникновения профессиональных заболеваний проходчика и МГВМ, при буровзрывном (БВС) и механизированном (МС) способе проходки горных выработок, в зависимости от стажа и вида профессиональных заболеваний на трех нефтедобывающих шахтах.

Table 1 - Assessment of the level of risk of occurrence of occupational diseases of the tunneling operator and MMO, with a drilling and blasting (BVC) and mechanized (MC) method of mining, depending on the length of service and type of occupational diseases in the three oil mines.

Виды профессиональных заболеваний	Стаж работы						
	≤3-х лет	4 - 7 лет	8 – 11 лет	12 – 15 лет	16– 20 лет	21 - 25 лет	более 25 лет
Буровзрывной способ проходки горных выработок (БВС)							
Вибрационная болезнь	0,0 0003	0,0 0163	0,0 0209	0,0 0298	0,0 0347	0,0 0476	0,0 0581
Нейросенсорная тугоухость	0,0 0001	0,0 084	0,0 0127	0,0 0178	0,0 0249	0,0 0282	0,0 0325
Сердечно-сосудистые заболевания	0,0 0000	0,0 0038	0,0 0079	0,0 0102	0,0 0158	0,0 0256	0,0 0295
Радикулопатия	0,0 0002	0,0 0076	0,0 0118	0,0 0134	0,0 0189	0,0 0272	0,0 0349
Пневмокониозы	0,0 0000	0,0 0060	0,0 093	0,0 0129	0,0 0176	0,0 0239	0,0 0287
Механизированный способ проходки горных выработок (МС)							
Вибрационная болезнь	0,0 0000	0,0 0036	0,0 0097	0,0 0178	0,0 0234	0,0 0278	0,0 0301
Нейросенсорная тугоухость	0,0 0000	0,0 014	0,0 0053	0,0 096	0,0 0138	0,0 0182	0,0 0214
Сердечно-сосудистые заболевания	0,0 0000	0,0 0026	0,0 0058	0,0 0092	0,0 0134	0,0 0171	0,0 0205
Радикулопатия	0,0 0001	0,0 0047	0,0 0092	0,0 0107	0,0 0168	0,0 0223	0,0 0279
Пневмокониозы	0,0 0002	0,0 0096	0,0 0117	0,0 0191	0,0 0247	0,0 0328	0,0 0411

ных результатов. В целях выявления развития профессиональных заболеваний предлагается алгоритм, реализация которого подразумевает многошаговую последовательность исследований условий труда, состояния здоровья и профессиональной заболеваемости работников нефтедобывающих шахт с последующей оценкой профессионального риска.

Проведенные исследования и анализ оценки риска развития профессиональных за-

болеваний позволяет разрабатывать обоснованный комплекс мероприятий, направленный на сохранение здоровья и оздоровление условий труда подземных работников нефтедобывающих шахт.

Оценка риска развития профессиональных заболеваний в условиях интенсификации нефтедобычи

Особую актуальность в системе управления ОТ в условиях интенсификации добычи

нефти шахтным способом приобретает своевременная и достоверная информация о развитии профессиональных заболеваний до и после технического перевооружения производства. В системе управления оценка риска обеспечивает контроль за развитием профессиональных заболеваний работников и служит критерием сравнительной оценки при техническом перевооружении средств труда.

Чтобы осуществить сравнительную оценку до и после технического перевооружения нефтяной шахты, согласно многошаговой последовательности исследований трудового процесса необходимо провести сбор и обработку данных об условиях труда, уровнях воздействия ВПФ и ОПФ, профессиональной заболеваемости и производственных процессах.

В основу исследований влияния интенсификации подготовительных (проходческих) работ на риск развития профессиональной заболеваемости положены исследования временных характеристик трудового процесса проходчика и машиниста горных выемочных машин (МГВМ), цикличность работ при техническом перевооружении средств труда в нефтяных шахтах Ярегского месторождения высоковязкой нефти. Циклограмма операций проходческих работ представлена на рисунке 3.

Функции управления возрастают при перестройке управляемой системы с последующим регулированием протекающих в ней процессов, и обеспечивает обновление системы для ее функционирования с максимальной эффективностью. Механизм управления обеспечивается разработанным алгоритмом (рис. 2) оценки риска развития профзаболеваний работников, занятых в технологических процессах добычи высоковязкой нефти. Критериями сравнительной оценки безопасности труда до и после технического перевооружения средств труда являются соответствующие показатели риска (табл. 1).

Исследования сравнительной оценки развития профессиональных заболеваний работников выявили существенную роль фактора шума в развитии изменений не только слуховой, но и вибрационной чувствительности при сочетанном воздействии двух факторов, вклад которого в величину смещения порогов вибрационной чувствительности составил 21,5%.

Проведенные исследования и анализ оценки условий и производительности труда, по случаям профзаболеваний и состоянию здоро-

вья работников позволяют обосновать комплекс мероприятий, направленных на улучшение условий труда при различных вариантах трудовых процессов.

Для разработки и реализации оздоровительных мероприятий следует учитывать критерии, обоснованные с учетом алгоритма оценки развития профессиональных заболеваний работников нефтедобывающих шахт.

В целях оперативности принятия управленческих решений и обеспечения своевременной и достоверной информации о риске развития профессионального заболевания работника необходимо внедрить в систему управления охраной труда информационное обеспечение, позволяющее отражать результаты донозологической диагностики по результатам проводимых медицинских профессиональных осмотров и производить автоматические расчеты риска здоровью персонала от воздействия вредных факторов при выполнении технологических операций горного производства. Такое информационное обеспечение основывается на комплексе информационных носителей об изменениях условий труда, состояния здоровья и о случаях заболеваемости, состав и содержание которых определяется в каждом конкретном случае целесообразностью и возможностью организовать автоматизированный сбор и оперативную передачу полных данных и оценки риска развития профессиональных заболеваний работников нефтяных шахт. Программное обеспечение в системе управления профессиональными рисками позволяет осуществлять сбор, обработку, анализ, оценку и представление необходимого объема информации для совершенствования системы управления охраной труда на шахте. Результаты исследования дают возможность разработать информационные карты профессионального риска, в которых отражается информация о состоянии условий труда работников, уровень воздействия негативных производственных факторов при использовании горного оборудования, машин, механизмов, отклонения в состоянии здоровья, риск развития профессиональных заболеваний у работников подземной группы нефтедобывающих шахт.

Информационное обеспечение в системе управления профессиональными рисками

Современные информационные системы базируются главным образом на результатах специальной оценки условий труда (СОУТ) и статистического метода оценки профзаболеваний, которые качественно и количественно отражают уровни воздействия ВПФ и вероятность

получения профессионального заболевания без учёта их временных характеристик и изменений состояния организма работников, что затрудняет проведение комплексных исследований профессионального риска при различных способах ведения работ.

Предлагается внедрить в систему управления профессиональными рисками программное обеспечение. Показатели оценки риска развития профзаболевания будут являться эффективным механизмом разработанного информационного обеспечения в совершенствовании системы управления охраной труда в условиях интенсификации технологических процессов проходки горных выработок нефтяных шахт. Предлагаемый алгоритм управления профессиональными рисками в системе информационного обеспечения, позволяет своевременно распознавать и прогнозировать развитие профзаболевания для проведения профилактических мероприятий по минимизации риска здоровью на ранних этапах формирования заболевания.

Изучение медицинских карт ежегодных и периодических медицинских осмотров работников нефтяных шахт с анализом и оценкой отклонений состояния здоровья подтвердила теоретические положения исследований и получения аналогичных значений риска развития профессиональных заболеваний конкретных работников, которые используем в информационном обеспечении по созданию базы данных. Таким образом результаты эксперимента с теоретическими исследованиями подтвердили достоверность проводимых разработок методики по оценке комплексного влияния негативных факторов на работников нефтедобывающих шахт.

Разработка базы данных по результатам прохождения работниками медицинских осмотров позволяет осуществлять анализ отклонений состояния здоровья и проводить оценку риска развития профессиональных заболеваний различных групп работников шахтной добычи высоковязкой нефти и планировать мероприятия по снижению профессиональных рисков.

Результаты исследований показали возможность применения данной теоретической модели и эффективность использования программного продукта на нефтедобывающих шахтах. Программный комплекс позволил выполнить гигиеническую оценку условий труда и риска профессиональной заболеваемости работников, занятых термошахтной добычей высоковязкой нефти на Ярегском месторождении и изучить закономерности формирования изменений в системах организма человека при воздей-

ствии ВПФ и стажа работы для моделирования риска развития профессиональных обусловленных изменений в организме работников. Методология позволила выполнять прогнозирование профессионально обусловленных изменений состояния здоровья фактором риска, приводящих к возникновению заболевания, связанным с технологией добычи высоковязкой нефти шахтным способом.

Информационное обеспечение системы управления профессиональными рисками функционирует в среде Windows, а доступ обеспечивается посредством Web-обозревателя. Информационное обеспечение осуществляется в электронном виде, с помощью программы Excel Microsoft Office, формируется база данных работников по структурным подразделениям нефтяных шахт, участкам работ, условиям труда, уровням вредных производственных факторов, стажу работ и возрасту персонала. Справочно-информационный блок включает: учет, анализ и оценку показателей; контроль состояния здоровья, анализа и прогнозной оценки риска возникновения профессиональных заболеваний. Информационное обеспечение включает в себя каталог показателей значимости ВПФ на рабочих местах. Проведем аналитический этап исследований, который включает в себя анализ и оценку профессиональных заболеваний с установлением причин, условий труда, результатов медицинских осмотров в зависимости от профессии, и по итогам которого разработана электронная база данных.

В состав справочно-информационный блок, учет, анализ и оценка показателей; контроль состояния здоровья, анализа и прогнозной оценки риска возникновения профессиональных заболеваний. Разработанное информационное обеспечение включает в себя каталог показателей значимости вредных производственных факторов на рабочих местах. Поэтому необходимо провести аналитический этап исследований, который включает в себя анализ и оценку профессиональных заболеваний с установлением причин, условий труда, результатов профессиональных осмотров в зависимости от профессии, и по итогам которого разработана электронная база данных.

В электронную индивидуальную карту работника при прохождении профессионального осмотра заносятся результаты лабораторных и диагностических исследований и осмотра врачей. Анализа результатов годовых профосмотров и оценки состояния здоровья подземного персонала проводится автоматически в системе

информационного обеспечения на нефтяной шахте.

Полученные результаты исследования позволяют разработать индивидуальные карты риска, в которых отражается информация о состоянии здоровья, условиям труда, уровню воздействия ВПФ при использовании оборудования, горных машин, механизмов, профессиональному риску. Функция оценки риска развития профессиональных заболеваний позволяет осуществлять прогностическую оценку профессиональных рисков. Информационное обеспечение на этапе оценки профессионального риска выявляет определенную группу работников и систем организма по производственно-обусловленным отклонениям для раннего прогноза развития профессионального заболевания.

Система управления профессиональными рисками на основании списка работников и базы данных полностью в автоматическом режиме создает индивидуальную карту профессионального риска по каждому работнику и формирует специальный документ, который показывает результаты проведенного мониторинга в табличном и графическом варианте, в нем отображается вся необходимая информация для службы охраны труда и руководства нефтяной шахты.

Формируется база данных при прохождении работником профессионального осмотра, в индивидуальную карту профессионального риска прямо из диагностических и врачебных кабинетов вносится информация о выполненных исследованиях и осмотрах. Собранная информация сразу поступает в базу данных, куда внесены службой ОТ: уровни ВПФ и ОПФ, результаты СУОТ и статистика случаев профзаболеваний, и обрабатывается системой до тех пор, пока ранжирование по степеням производственно-обусловленных отклонений оценки профессионального риска не достигнет критических степеней, при которых в дальнейшем не допускается или ограничивается участие работника в данных условиях труда. Так, оценка развития профессиональных заболеваний позволяет оперативно выявлять группы риска.

На основании оценки развития профессионального риска и его ранжирования информационное обеспечение формирует в базе данных специальный документ, который называется «Индивидуальной картой риска», в которой ото-

бражается вся необходимая информация для работника, руководителя и специалистов службы охраны труда нефтедобывающей шахты.

Выводы

Выполненными исследованиями в основу совершенствования СУОТ положен разработанный алгоритм, полученные результаты позволяют проводить мониторинг показателей риска возникновения профессиональных заболеваний и ранжирование удельных показателей риска, что позволяет научно обосновать профессиональные группы риска профзаболеваемости персонала и снизить воздействие вредных факторов по их приоритетности в системе. Реализации алгоритма управления профриском в системе информационного обеспечения охраны труда даёт возможность проводить мониторинг изменений показателей состояния здоровья подземного персонала с учетом стажа работы во вредных условиях производства для выявления на более ранних этапах предрасположенности к получению профзаболеваний с формированием групп риска и для определения рациональности проводимых мероприятий в области технического перевооружения и сохранения жизни и здоровья работников.

Проведенная оценка риска развития профзаболеваний работников при БВС и МС указывает на существенную роль фактора шума в развитии изменений не только слуховой, но и вибрационной чувствительности при сочетанном действии двух факторов, вклад которого в величину смещения порогов вибрационной чувствительности составил 21,5%.

Использование программного обеспечения по оценке риска развития профессиональных заболеваний даёт возможность производить сбор, обработку, анализ, оценку и представление значительного объема информации для совершенствования системы управления охраной труда нефтяной шахты. Предложено по результатам оценки развития профессионального риска и его ранжирования формировать в базе данных «Индивидуальную карту риска развития профессионального заболевания».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 04.08.2014 г. № 524н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области охраны труда».
2. Фомин А.И. Управление охраной труда на горных предприятиях: учебное пособие / А.И. Фомин // КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 262 с.
3. Грунско́й Т.В. «Гигиеническая оценка риска развития профзаболеваний у подземного персонала при термощахтном способе добычи нефти» / Т.В. Грунско́й, А.Г. Бердник, М.М. Бердник // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 18. № 1. С. 85-100.
4. Грунско́й Т.В. «Анализ и оценка профессиональных заболеваний подземного персонала на нефтешахтах Ярегского месторождения / Т.В. Грунско́й, В.П. Перхуткин, А.Г. Бердник // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./ УГНТУ.2017. №3. С. 128-144.
5. Фомин А.И. Оценка условий труда при расследовании и регистрации случаев профессиональных заболеваний в угольной отрасли: монография / А. И. Фомин НП «Кузбасский межотраслевой центр охраны труда». – Кемерово, 2007. – 202 с.
6. Гендлер, С. Г. Опыт и перспективы управления охраной труда и промышленной безопасностью на предприятиях минерально-сырьевого комплекса / С. Г. Гендлер, М. Л. Рудаков, Л. Ю. Самаров // Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 84-87.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of 04.08.2014, No. 524n "On approval of the professional standard" Specialist in the field of labor protection ". (2014). [In Russian]
2. Fomin, A. I. (2018). *Upravleniye okhranoy truda na gornykh predpriyatiyakh: Uchebnoye posobiye [Management of labor protection in mining enterprises: A training manual]*. Kemerovo: KuzGTU. [In Russian]
3. Grunskoy, T. V., Berdник, A. G., & Berdник, M. M. (2018). Gигiyenicheskaya otsenka riska razvitiya profzabolevaniy u podzemnogo personala pri termoshakhtnom sposobe dobychi nefti [Hygienic risk assessment of the development of occupational diseases among underground personnel during the thermo-mining method of oil extraction]. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and Gas and Mining*, 18(1), 85-100. [In Russian]
4. Grunskoy, T. V., Perhutkin, V. P., & Berdник, A. G. (2017). Analiz i otsenka professional'nykh zabolevaniy podzemnogo personala na nefteshakhtakh Yaregskogo mestorozhdeniya [Analysis and evaluation of occupational diseases of underground personnel at oil mines of the Yaregskoye field]. *Oil and gas business: electron. scientific journals*, 3, 128-144. [In Russian]
5. Fomin, A. I. (2007). *Otsenka usloviy truda pri rassledovanii i registratsii sluchayev professional'nykh zabolevaniy v ugol'noy otrasli: monografiya [Assessment of working conditions in the investigation and registration of occupational diseases in the coal industry: a monograph]*. Kemerovo: Kuzbass Intersectoral Center for Labor Protection. [In Russian]
6. Gendler, S. G., Pudakov, M. L. & Samarov, L. Yu (2015). Опыт i perspektivy upravleniya okhranoy truda i promyshlennoy bezopasnost'yu na predpriyatiyakh mineral'no-syr'yevogo kompleksa [Experience and perspectives of labor protection and industrial safety management at the enterprises of the mineral complex]. *Gornyy zhurnal - Mining Journal*, 5, 84-87. [In Russian]



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

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

УДК614.8:622:658.3

ТЕОРИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ

THEORY OF SYNERGETIC INTERACTION OF ELEMENTS IN SAFETY SYSTEMS OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES IN THE CONTEXT OF MULTIFUNCTIONAL SAFETY SYSTEMS OF COAL MINES AND MULTIFUNCTIONAL LIFE SUPPORT SYSTEMS IN CASE OF ACCIDENTS

В статье раскрыты основы теории синергизма систем безопасности, даны основные принципы взаимодействия систем безопасности шахты и систем жизнеобеспечения (военизированных горноспасательных частей), определена основная терминология теории взаимодействия систем безопасности.

Доказывается необходимость гармонизации систем, как в целях, так и во взаимодействиях, на основе элемента взаимосвязи – плана ликвидации аварий, при условии – максимизации соответствия взаимодействующих систем уровню опасности производственного объекта и потенциальным рискам.

The article reveals the basics of the theory of synergism of safety systems, the basic principles of interaction between mine safety systems and life support systems (paramilitary mine rescue units), the basic terminology of the theory of interaction of safety systems.

The necessity of harmonization of systems, both for the purposes and in interactions, on the basis of the element of interrelation – the plan of elimination of accidents, on condition – maximization of compliance of interacting systems to the level of danger of production facility and potential risks is proved.

Ключевые слова: ТЕОРИЯ СИНЕРГИЗМА, ПОДСИСТЕМА, ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ПРЕВЕНТИВНЫЙ ПРИНЦИП БЕЗОПАСНОСТИ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРИЧИН АВАРИЙ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РИСК.

Key words: THEORY OF SYNERGISM, SUBSYSTEM, ELEMENT OF SYSTEM, MULTI-FUNCTION SECURITY SYSTEMS, MULTIFUNCTIONAL LIFE SUPPORT SYSTEMS, SYNERGETIC EFFECT, THE PRINCIPLE OF PREVENTIVE SECURITY, LOCALIZATION OF THE CAUSES OF ACCIDENTS, POTENTIAL RISK.

Как известно, научная теория – это система обобщенного знания, имеющая различные значения, как противопоставление практике или гипотезе, как непроверенному знанию в форме предположения, при этом обобщающая передовую практи-

ку отражением ее в мышлении и действительности. Существует множество, понятий теории, например, Булыко А.Н. [1, С.687], дает три определения:

– система научных взглядов, идей обобщающих опыт, общественную практику и отра-

жающих их объективные закономерности развития природы и общества;

- совокупность положений какой-либо области знаний;

- собственное мнение взгляд на что-либо;

В свою очередь, Кузин Ф.А. [2, С.134], дает следующее определение:

- учение, система идей или принципов.

Совокупность обобщенных положений, образующих науку или ее раздел. Она выступает как форма синтетического знания, в границах которой, отдельные понятия, гипотезы или законы теряют прежнюю автономность и становятся элементами целостной системы.

Как видно, это совпадающие определения, поэтому, синтезируя их, и переводя в контекст, предлагаемой *теории синергетической безопасности на опасных производственных объектах*, мы будем иметь ввиду – *синергетическое взаимодействие подсистем и элементов безопасности* (многофункциональной системы безопасности на шахте и многофункциональной системы жизнеобеспечения – военизированные горноспасательные части), при локализации и ликвидации аварий на шахтах, где при их определенном уровне соответствия создается синергетическое взаимодействие в виде – синергетического эффекта.

Предлагаемая теория *синергетической безопасности на опасных производственных объектах* – угольных шахтах, базируется на основах теории производственной безопасности отраженной в работах ряда ученых в различное время [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]. Кроме того, формирование системных принципов предлагаемой теории, основано на общей теории систем разработанных как отечественными так и зарубежными авторами, в различное время [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27]. Сравнение характеристик многофункциональных систем безопасности шахт и систем жизнеобеспечения при локализации и ликвидации аварий на угольных шахтах приведено в табл.1.

Ввиду того, что принцип – основное, исходное положение какой либо теории, необходимо разработать основные принципы безопасности как для МФСБ, так и МСЖО, а также, для их совместного взаимодействия. Для разработки использованы источники – законы, нормативные документы, научные публикации и эмпирические факты, и при анализе и систематизации последних, можно определить преобладающие положения. Прямо в законе ФЗ -116, не сказано о принципах, но имеется установка к организа-

ции производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности и управления промышленной безопасностью, следовательно, эти требования формируют основные принципы, согласно статьи 11, ФЗ-116:

1. **принцип непрерывного производственного контроля**, за соблюдением требований промышленной безопасности;

2. **принцип воспроизводства и достоверности информации о состоянии промышленной безопасности на опасном производственном объекте**;

3. **принцип системного управления функционированием промышленной безопасности на опасном производственном объекте**.

Все та же статья 11, ФЗ-116, определяет цели и задачи системы управления промышленной безопасностью (СУПБ):

- определение целей и задач организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, в области промышленной безопасности, информирование общественности о данных целях и задачах;

- идентификацию, анализ и прогнозирование риска аварий на опасных производственных объектах и связанных с такими авариями угроз;

- планирование и реализацию мер по снижению риска аварий на опасных производственных объектах, в том числе при выполнении работ или оказании услуг на опасных производственных объектах сторонними организациями либо индивидуальными предпринимателями;

- координацию работ по предупреждению аварий и инцидентов на опасных производственных объектах;

- осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности;

- безопасность опытного применения технических устройств на опасных производственных объектах в соответствии с пунктом 3 статьи 7 настоящего Федерального закона;

- своевременную корректировку мер по снижению риска аварий на опасных производственных объектах;

- участие работников организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, в разработке и реализации мер по снижению риска аварий на опасных производственных объектах;

- информационное обеспечение осуществления деятельности в области промышленной безопасности.

Все вышеприведенные задачи направле-

Таблица 1 - Сравнение многофункциональных систем безопасности шахт и систем жизнеобеспечения при локализации и ликвидации аварий на угольных шахтах
 Table 1 - Comparison of multifunctional safety systems of mines and life support systems in the localization and liquidation of accidents in coal mines

Свойства системы	Характеристика многофункциональных систем безопасности шахт до аварии (МФСБ)	Характеристика многофункциональных систем жизнеобеспечения (МФСЖ) после аварии	Характеристика синергетического взаимодействия МФСБ и МФСЖ (период взаимодействия)
Происхождение	искусственные системы	искусственные системы	Синергетическое взаимодействие может быть как положительным, так и отрицательным
Открытые или замкнутые	Открытые	Закрытые	Определенные ограничения доступа
Делимость	Целое может быть разделено на составные элементы с различными функциями	Целое разделено на однородные элементы (отделение, взвод, отряд)	Стремится к объединению, подразделяется по принципу иерархии целей
Объединение	Целое может быть больше, чем сумма составляющих его элементов	Целое означает большее, чем сумма составляющих его элементов (единый вектор действий)	Объединение направлено на мультипликацию взаимодействия подсистем большего, чем сумма составляющих подсистем (синергетика)
Взаимосвязь	Средняя взаимосвязь: составные части могут быть рассмотрены изолировано	Сильная взаимосвязь: составные части не могут быть рассмотрены изолировано	Жесткие вертикальные связи (аварийная ситуация, чрезвычайная ситуация)
Сложность	Организованные, сложные	Организованные, сложные	Высший уровень сложности систем в зависимости от вида, масштаба аварии, и лимита времени
Свойства систем	Характеристики систем, к которым применяется системный подход	Характеристики систем, к которым применяется системный подход	Характеристики систем, к которым применяются системный и ситуационный подход
Основные понятия	Потенциал, развитие	Иерархия, упорядоченность, оперативность	Иерархия, оперативность, потенциал
Энтропия и порядок	Наивысшая степень неупорядоченности	Система сопротивляется неупорядоченности	Система обладает тенденцией самоорганизации, адаптации и ликвидации неупорядоченности
Цель системы	Безаварийное функционирование в настоящем	Интерес представляют превентивные задачи безопасности	Интерес представляют последствия
Организация и иерархия	Свойства систем более высокого уровня выводимы из свойств систем более низкого уровня	Свойства функции элементов системы жестко регламентированы	Свойства объединенной системы зависят от эффективного плана ликвидации аварий и уровня синергизма во взаимодействии МФСБ и МФСЖ

ны на **превентивное воздействие** по обеспечению безопасности, исходя из этого формулируем, четвертый принцип безопасности:

4. **принцип превентивности мер безопасности** (профилактики и предупреждения аварий).

Ввиду того, что в принципах (и в законе ФЗ-116) присутствует **система управления безопасностью**, то взаимодействие подсистем управления безопасностью, согласно, общей теории систем, формирует **синергетический результат** СУПБ, тем самым позволяет сформулировать пятый принцип безопасности:

5. **принцип синергетики элементов**

СУПБ (выполнение 1-4 принципа формирует положительный синергетический результат СУПБ, несоблюдение – отрицательная синергетика).

Более наглядно, теорию синергетической безопасности угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров осложненных взрывами метановоздушной смеси, при создании единого центра на период аварии (ЕЦ СУПБ-БА), характеризует см.(рис.1).

Аварии, происходящие на современных шахтах связанные с эндогенными пожарами и взрывами носят катастрофичный характер. Данный факт подтверждается количеством жертв и масштабом ущерба наносимого данным видом

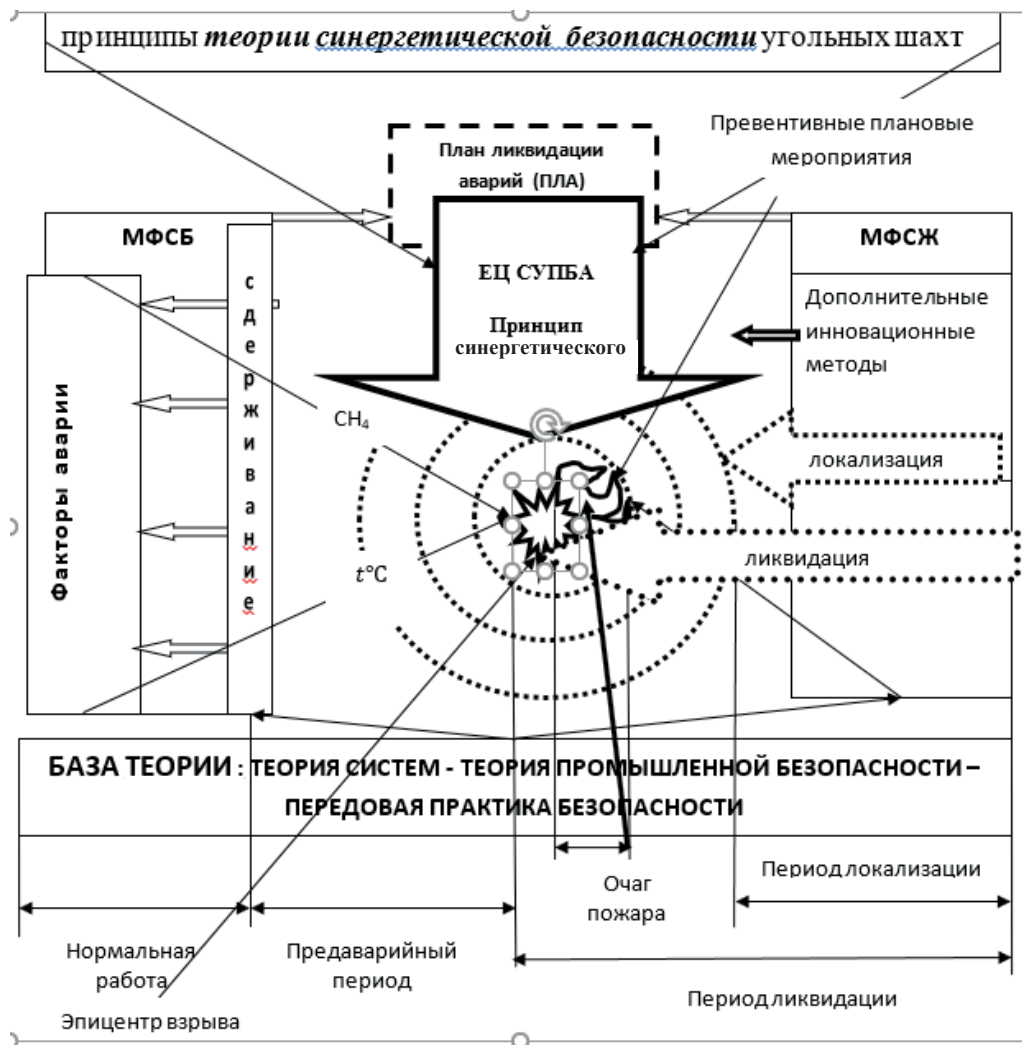


Рисунок 1. Теория синергетической безопасности угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров осложненных взрывами метановоздушной смеси
 Figure 1. The theory of synergistic safety of coal mines in the localization and liquidation of underground fires complicated by methane-air explosions

аварий. Возникновение данных аварий носит высокую степень вероятности, на шахтах III категории и сверхкатегорных, и особо на шахтах, где разрабатываются пласты склонные к самовозгоранию.

В целях повышения безопасности на угольных шахтах стали применяться МФСБ обеспечивающие системный контроль за безопасностью в режиме онлайн.

При всех достоинствах используемых систем безопасности, с вероятностью 1 раз в три года на шахтах России происходит взрыв метана и/или эндогенный пожар, при последующем взрыве метана, или взрыве пылевоздушной смеси.

Когда происходят такие категорийные аварии, то в этот момент надежность МФСБ стремится к нулю (в зависимости от масштаба и уровня опасности). Поэтому в этот момент вводится в действие план ликвидации аварий и другая

многофункциональная система (она в принципе существовала всегда – военизированные горноспасательные части) – МФСЖ, а также в некоторой мере подключались пожарные и медицина, но ключевая роль у горноспасателей (профессиональных аварийно-спасательных служб).

Вводимый в действие ПЛА – является организационной основой МФСЖ и аварийной МФСБ. Эффективность взаимодействия зависит от многих факторов:

- сложности шахты (четыре категории опасности);
- уровня эффективности самого ПЛА;
- уровня компетентности руководителей по ликвидации аварии:
- уровня подготовки людей, находящихся в шахте;
- уровня неопределенности создавшейся ситуации (неполнота информации).

Для повышения эффективности взаимо-

действия МЧСЖ и МЧСБ при ликвидации аварий, необходимо для каждой шахты, проводить не только разработку, согласование, утверждение и внесение изменений в ПЛА, но и проводить на этой стадии исследования по расчетам **конкретных рисков в каждой опасной позиции**, при необходимости обеспеченные не только вероятностными расчетами рисков, но и прогнозом потенциальных параметров аварий и зон распространения, что возможно лишь при привлечении научно-исследовательских учреж-

дений.

Резюмируя можно, констатировать, что **теория синергетической безопасности** на угольных шахтах, в контексте взаимодействия МЧСЖ и МЧСБ, фактически является настоящим требованием практики, т.к. данное свойство систем, которое дает мультипликационный эффект, особенно это важно в условиях лимита времени (золотого часа), и если авария предотвращена на начальной стадии – это на порядки снижает уровни всех видов рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булыко А.Н. Современный словарь иностранных слов. Более 25 тысяч слов и словосочетаний. Изд. 2-е. испр. и доп. – М.: «Мартин», 2005. – 848с.
2. Кузин Ф.А. Кандидатская диссертация. Методика написания, правила оформления и порядок защиты: Практическое пособие для аспирантов и соискателей ученой степени. – 8-е изд., стер. – М.: «Ось-89», 2006. – 224с.
3. Филоненко И.К. Современное состояние и перспективы развития рынка технических систем безопасности в России [Текст] // Безопасность труда в промышленности. – №5, 2006. – С.55-57
4. Пуликовский К.Б. Единая система оценки соответствия на объектах, подконтрольных федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [Текст] // Безопасность труда в промышленности. – № 4, 2006. – С.32- 35
5. Бабокин И.А. Система безопасности труда на горных предприятиях [Текст] / И.А. Бабокин. – М.: Недра, 1984. – 320с.
6. Фролов А.В. Совершенствование системы управления безопасностью труда на угольных шахтах [Текст] // Уголь. – № 5, 2000. – С.59
5. Сорокин А.А. Математическое моделирование метановзрывоопасности шахтных технологических систем [Текст] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – № 2(60), 2007. – С.6- 15
6. Грицко Г.И., Вылежанин В.Н. О математической модели прогноза эндогенной пожароопасности [Текст] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – № 3, 1973. – С.19-22
7. Лавцевич В.И. Исследование и оценка метановзрывоопасности шахтных технологических систем [Текст]: дисс. докт. техн. наук / И.В. Лавцевич. – Новосибирск, 1974. – 349с.
8. Шевченко Л.А., Колмаков В.А., Пузырев В.Н. Вопросы безопасности труда на горных предприятиях. [Текст] / Гос. учреждение Кузбасский государственный технический университет. – Кемерово, 2002. – 68с.
9. Линденану Н.И. Маевская В.М., Крылов К.Ф. Происхождение профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах [Текст] / Н.И. Линденану, В.М. Маевская, К.Ф. Крылов. – М.: Недра, 1977. – 320с.
10. Горбатов В.А., Васенин И.М., Игишев В.Г. Безопасность работ при локализации пожаров на склонных к самозгоранию пластах угля [Текст] / В.А. Горбатов, И.М. Васенин., В.Г. Игишев. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. – 156с.
11. Буторин В.К. Прикладной системный анализ: концептуальный подход [Текст] / Буторин В.К., А.Н. Ткаченко, С.А. Шипилов. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: «Кузбассвузиздат: АСШТ», 2006. – 323с.
12. Вычислительные комплексы и моделирование сложных систем: Сборник [Текст] / Под ред. Л.Н. Королева, П.С. Краснощекова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 210с.
13. Гаврилин А.В. Системный подход к управлению топливно-энергетическим комплексом [Текст]: дис. на соискание уч. степени канд. экон. наук, Саратов, 2004. – 186с.
14. Кирилов В.И. Квалиметрия и системный анализ: учеб. пособие [Текст] / В.И. Кирилов. – 2-е изд., стер. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. – 440с.
15. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: [Текст] / Учеб. 3-е изд. – Томск: Изд.-во НТЛ, 2001. – 396с.
16. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: [Текст] / Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 367с.
17. Хлунов А. В. Квалиметрическая оценка систем автоматизированного проектирования электротехнических изделий [Текст] : автореферат дис. кандидата технических наук. – Тула, 2005. – 19 с.
18. Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В. Теория и практика формирования и функционирования систем безопасности на шахтах нового поколения (оценка системы безопасности ОАО ш. «Заречная» на период 2020 года) [Текст] / В.Г. Харитонов, А.В. Ремезов., С.В. Новоселов. – Кемерово, 2007. – КузГТУ. – 349с.
19. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory – British J. For Phil. of Sci. 1950, vol., №2, 134 – 165.
20. Gharajedaghi J., Ackoff R.L. Toward Systemic Education of System Scientists. System Research, 1985. Vol.2. N 1. 21-27.
21. Lewandowski A., Werzbicki A. Theory, Software and Testing Examples in Decision Support System. Working paper WP – 88 – 071, Internationnal Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria, 1988.
22. Bertalanffy, Ludwig Von. (1968). General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller.
23. Checkland, P. (1981). Systems Thinking, Systems practice. New York: Wiley.
24. Corning, P. (1983). The Synergism Hypothesis: A Theory of Progressive Evolution. New York: McGraw Hill.
25. Hinrichsen, Diederich and Pritchard, A.J. (2005). Mathematical Systems Theory. New York: Springer. ISBN 978-3-540-44125-0

REFERENCES

1. Bulyko A. N. Modern dictionary of foreign words. More than 25 thousand words and phrases. Ed.2. Rev. and DOP. - M.: "Martin", 2005. – 848 p.
2. Kuzin F. A. master's thesis. Methods of writing, rules of registration and procedure of protection: a practical guide for graduate students and applicants for a degree. - 8th ed., revised. – M.: "OS ' -89", 2006. – 224p.
3. Filonenko I. K. Current state and prospects of development of the market of technical safety systems in Russia [Text] // safety in industry. - №5, 2006. - P. 55-57
4. The unified system of conformity assessment at the facilities controlled by the Federal service for environmental , technological and nuclear supervision [Text] // Safety of labor in the industry. - № 4, 2006. – P. 32 - 35 5. Babokin I. A. the system of labor safety at mining enterprises [Text] / I. Babokin. - M.: Nedra, 1984. - 320c. 6. Frolov A.V. Improvement of the safety management system in coal mines [Text] // Coal. - № 5, 2000. – P. 59
5. Sorokin A. A. Mathematical modeling of metanovozdushnoj mining technological systems [Text] // Bulletin of the Kuzbass state technical University. - № 2 (60), 2007. - P. 6-15.
6. Gritsko G. I., Vylegzhanin V. N. On the mathematical model of the forecast of endogenous fire hazard [Text] // Physical and technical problems of mining. - № 3, 1973. - P. 19-22
7. Lavcevic, V. I. Study and assessment of metanovozdushnoj mining technological systems [Text]: Diss. Doc. tech. Sciences / I. V. Lavcevic. - Novosibirsk, 1974. – 349 p.
8. Shevchenko L. A., Kolmakov, V. A., Puzyrev V. N. The issues of safety in mining. [Text] / State. institution Kuzbass state technical University. - Kemerovo, 2002.- 68 p.
9. Lindenau N. And. Mayevskaya V. M., Krylov K. F. the origin of prevention and suppression of endogenous fires in coal mines [Text] / N. And. Lindenau, V. M. Mayevskaya, K. F. Krylov. - Moscow: Nedra, 1977. – 320 p.
10. Gorbatov V. A., Vasenin I. M., Igishev, V. G. Safety in the localization of fires in inclined to sumasharana the coal seams [Text] / V. A. Gorbatov, I. M. Vasenin., V. G. Igishev. - Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2004. – 156 p.
11. Butorin V. K. Applied systems analysis: a conceptual approach [Text] / V. K. Butorin, A. N. Tkachenko, S. A. Shipilov. - Kemerovo; M.: Publishing Association "Russian universities": "Kuzbassvuzizdat: ASST", 2006.- 323p.
12. Computational complexes and modeling of complex systems: Collection [Text] / ed. L. N. Queen, P. S. Krasnoshchekova. - Moscow: Moscow state University Publ., 1989.- 210C.
13. A Systematic approach to the management of the fuel and energy complex [Text]: dis. for the degree of kand. Econ. of Sciences, Saratov, 2004-186 p.
14. Kirilov V. I. Qualimetry and system analysis: studies. manual [Text] / V. I. Kirilov.- 2nd ed., revised. - Minsk: New knowledge; M.: INFRA-M, 2014.- 440 p.
15. Peregudov F. I., Tarasenko F. P. the Foundations of system analysis [Text] / Proc. 3-e Izd. – Tomsk: Izd.-in the NT, 2001. – 396 p.
16. Peregudov, F. I., Tarasenko, F. p. system analysis: introduction to the study guide for higher education institutions.- M.: Higher.SHK., 1989.- 367p.
17. Khlunov A.V. Qualimetric evaluation of computer-aided design of electrotechnical products [Text] : abstract dis. candidate of technical Sciences.- Tula , 2005 - P. 19
18. Kharitonov V. G., Remezov A. V., Novoselov S. V. Theory and practice of formation and functioning of safety systems at mines of new generation (evaluation of safety system of JSC sh. "Zarechnaya" for the period of 2020 goda) [Text]. Kharitonov, Remezov., S. V. Novoselov .- Kemerovo, 2007-KuzSTU.- 349p.
19. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory – British J. For Phil. of Sci. 1950, vol., №2, P.134 – 165.
20. Gharajedaghi J., Ackoff R.L. Toward Systemic Education of System Scientists. System Research, 1985. Vol.2. N 1. P.21-27.
21. Lewandowski A., Werzbicki A / Theory, Software and Testing Examples in Decision Support System. Working paper WP – 88 – 071, Internationnal Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria, 1988.
22. Bertalanffy, Ludwig Von. (1968). General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller.
23. Checkland, P. (1981). Systems Thinking, Systems practice. New York: Wiley.
24. Corning, P. (1983). The Synergism Hypothesis: A Theory of Progressive Evolution. New York: McGraw Hill.
25. Hinrichsen, Diederich and Pritchard, A.J. (2005). Mathematical Systems Theory. New York: Springer. ISBN 978-3-540-44125-0



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

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

УДК 614.8:622:658.3

ФОРМАЛИЗАЦИЯ АКСИОМ ТЕОРИИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ МФСБ И МФСЖ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ

FORMALIZATION OF THE AXIOMS OF THE THEORY OF SYNERGISTIC SECURITY SYSTEMS AND MFSB MFSJ THE LIQUIDATION OF THE ACCIDENT

В статье раскрыты основы синергетического взаимодействия организационных технико-технологических систем – многофункциональных систем безопасности (МФСБ) на угольных шахтах и организационно-технических систем – военизированных горноспасательных частей – многофункциональных систем жизнеобеспечения (МФСЖ).

Представлена общая и динамическая математическая модель системы МФСБ шахты. Разработана логическая модель получения синергетического эффекта.

Показаны варианты соотношения потенциалов взаимодействия МФСБ и МФСЖ с потенциалом процесса аварии. Определены пути дальнейшего развития теории синергетической безопасности и исследования процесса ликвидации аварий на угольных шахтах при пожарах и взрывах.

Formalization of the axioms of the theory of synergetic safety in the interaction of IFSB and IFSJ systems in the liquidation of the accident The article reveals the basics of synergetic interaction of organizational technical and technological systems-multifunctional security systems (IFSB) in coal mines and organizational and technical systems-paramilitary mining and rescue units – multifunctional life support systems (IFSF). The General and dynamic mathematical model OF the IFSB mine system is presented. Developed a logic model to obtain a synergistic effect. Shows the correlation of interaction potentials MFSB and MFSG with potential process accidents. The ways of further development of the theory of synergetic safety and research of the process of elimination of accidents at coal mines in case of fires and explosions are determined.

Ключевые слова: АКСИОМА, КОНЦЕПЦИЯ, ТЕОРИЯ, СИНЕРГЕТИКА, СИСТЕМА, ЭЛЕМЕНТ, ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПОТЕНЦИАЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ПОТЕНЦИАЛ АВАРИИ, СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

Key words: AXIOM, CONCEPT, THEORY, SYNERGETICS, SYSTEM, ELEMENT, LOGICAL MODEL, MATHEMATICAL MODEL, INTERACTION POTENTIAL, ACCIDENT POTENTIAL, SYNERGETIC EFFECT.

Вопросами изучения синергии и самоорганизации систем в рамках естественных наук занимались ряд ученых: Г. Хакен [1], А.А.Богданов [2], и др., но точной математической формулы расчета синергетического эффекта при взаимодействии разнородных систем никто не приводит. Общих вербальных определений по синергетическому эффекту – множество. Обобщая определения, можно утверждать, что синергетический эффект это изменение (увеличение или снижение) эффективности деятельности в результате соединения, взаимодействия, интеграции, слияния

отдельных частей в единую систему за счет системного эффекта (свойство эмерджентности¹ – качество, свойства системы, которые не присущи ее элементам в отдельности, возникают благодаря объединению этих элементов в единую систему).

Научное обоснование **концепции синергетической безопасности** взаимодействия многофункциональных систем, при ликвидации аварий, базируется на общей теории систем и теории синергизма с учетом передовой практи-

¹ Эмерджентный – англ., emergence – появление нового, А.Н. Булыко. М., 2005, С.825

ки, требующей формирования МФСБ на угольных шахтах.

Согласно теории систем по ряду источников [3, С.46], [4, С.91], общая математическая модель системы МФСБ шахты соответствующая уровню «белого ящика» - имеет вид:(1) :

$$X \xrightarrow{\varphi} S \xrightarrow{\eta} Y \quad (1)$$

где X, Y, S – множество возможных значений входов, выходов, состояний системы, соответственно;

φ - оператор отображения входов в состояние системы;

η - оператор отображения входов и состояний в её выходы.

Подобную модель можно применить при описании МФСБ шахты, с учетом временной фактора – момент времени t , тогда скорректированные элементы модели, примут вид:

$$X = \{x_{1(t)}, x_{2(t)}, \dots, x_{n(t)}\},$$

где $x_{1(t)}$ – входные параметры подсистемы аэрогазового режима; параметры подсистемы горный массив;

$x_{2(t)}$ – параметры подсистемы технологическое оборудование;

$x_{3(t)}$ – параметры подсистемы персонал.

$$Y = \{y_{1(t)}, y_{2(t)}, \dots, y_{n(t)}\},$$

где $y_{1(t)}$ – выходные параметры подсистемы аэрогазового режима;

$y_{2(t)}$ – выходные параметры подсистемы горный массив; выходные параметры подсистемы технологическое оборудование;

$y_{3(t)}$ – выходные параметры подсистемы персонал.

$$S = \{s_{1(t)}, s_{2(t)}, \dots, s_{n(t)}\},$$

где $s_{1(t)}$ – промежуточное состояние подсистемы аэрогазового режима;

$s_{2(t)}$ – промежуточное состояние подсистемы горный массив;

$s_{3(t)}$ – промежуточное состояние подсистемы технологическое оборудование;

$s_{4(t)}$ – промежуточное состояние параметры подсистемы персонал.

Тогда скорректированная математическая модель МФСБ шахты, с учетом временного фактора времени, будет иметь вид (2):

$$\left\{ x_{1(t)}, x_{2(t)}, \dots, x_{n(t)} \right\} \xrightarrow{\varphi} \left\{ s_{1(t)}, s_{2(t)}, \dots, s_{n(t)} \right\} \xrightarrow{\eta} \left\{ y_{1(t)}, y_{2(t)}, \dots, y_{n(t)} \right\} \quad (2)$$

Состояние подсистем (количество подсистем $n=4$) МФСБ по градации функционирования может находиться в m состояниях - (ниже нормы,

норма, выше нормы, ($m=3$), тогда для каждого состояния существует уровень безопасности (уровень риска), которые необходимо определять количественно, для управления процессом ликвидации аварии.

Состояние системы МФСБ на шахте описывается набором характеристик основных подсистем $q_i (i=1, 2, \dots, k)$:

q_1 - характеристика подсистемы аэрогазового режима;

q_2 - характеристика подсистемы горный массив;

q_3 - характеристика подсистемы технологическое оборудование;

q_4 - характеристика подсистемы персонал.

Каждая из q_i -ых принимает значения в множестве Q_i , т.е.: $q_i \in Q_i$

Множество S состояний МФСБ определяется произведением множеств Q_i (мультипликацией) (3) :

$$S = Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \times Q_4, \quad (3)$$

По уровню мультипликации можно судить, при математических вычислениях Q_i (в коэффициентах, баллах или рейтингах) о уровне безопасности МФСБ.

Вопросам безопасности в аспекте многофункциональных систем, в последнее время привлечено особое внимание не только ученых [5], [6], но и практиков, проводящими регулярно научно-практические конференции по безопасности [7, С.63], [8]. Сложность системных исследований раскрывается теорией системного анализа в трудах ряда зарубежных ученых [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], где описываются свойства систем и синергетические характеристики процессов: нелинейность, диссипативность, фрактальность, аттрактивность, бифуркативность, эмерджентность, саморегулируемость. Для ограничения сложности, предлагается в первом приближении синергетические эффекты, типа: «2+2 = 5» или «2+2 = 3», при взаимодействии систем определять следующей логической моделью (4):

$$S_{1,2} \neq S_1 \cup S_2 \Rightarrow R_{max/min} \quad (4)$$

$S_{1,2}$ - интегрированная система;

S_1, S_2 - отдельные, взаимодействующие системы;

\cup - логический знак объединения;

\Rightarrow - логический знак импликации, (если то);

$R_{max/min}$ - получаемый синергетический эффект.

Обычно под синергетическим эффектом понимается увеличение, т.к. по логике организации, мы к этому стремимся, но при неблагоприятном развитии событий, нельзя исключать и снижение эффективности.

Наличие принципа единоначалия на основе Устава ВГСЧ и Инструкции по ликвидации

аварий, обеспечивает МФСЖ однонаправленность в достижении цели – ликвидации аварии. Данный аспект определяет синергизм системы.

Для повышения эффективности взаимодействия МФСЖ и МФСБ при ликвидации аварий, необходимо для каждой шахты, проводить не только разработку, согласование, утверждение и внесение изменений в ПЛА, но и иметь расчеты **конкретных рисков в наиболее опасных позициях**, обеспеченные не только вероятностными расчетами рисков, но и прогнозом потенциальных параметров аварий и зон их распространения, что возможно при привлечении научно-исследовательских учреждений. Предлагается следующая матрица действий (см. табл.1), формирующая синергетическое взаимодействие систем МФСБ и МФСЖ при лик-

видации аварии.

Анализ матрицы таблицы 1, показывает, что синергетическое взаимодействие формируется на базе действий ВГСЧ и пожарных расчетов, а так же возможна помощь работников шахты при ликвидации завалов и затоплений. На основе таблицы 1, получена матрица размером $m \times n A=(a_{ij})_{mn}$, табл.2.

Анализ таблицы 2, дает вывод: в формировании синергетического эффекта участвовало 40 взаимодействий, при 14 подсистемах, общее число действий в системе МФСЖА – 58. На основе данного подхода можно планировать оптимальное взаимодействие при ликвидации аварии. Однако, число взаимодействий не дает полноценной оценки потенциала объединенной системы, но если определить эффективность

Таблица 1 - Формирование синергетического взаимодействия систем МФСБ и МФСЖ при ликвидации аварии на шахте
Table 1 - Formation of the synergistic interaction of the systems of the IFSB and IFSH in the event of the elimination of the accident at the mine

		Элементы МФСБ										Аварии			
		подсистема аэрогазового контроля (А)	подсистема контроля массива (Г)	подсистема противопожарной защиты (ПС)	подсистема аварийного оповещения (О)	подсистема позиционирования персонала (ПП)	подсистема обнаружения людей(ОП)	подземные работники (Р)	под система шахтная атмосфера (ША)	подсистема шахтные выработки (ШВ)	пожар	взрыв	затопления	завалы	
Элементы МФСЖ	отделения ВГСЧ(В)	А	В, ПС	В, ПС	О	ПП	В	В	В	В	В, П, ПП	В, ПП	В, Р, ПП	В, Р, ПП	
	медицинские бригады экстренного реагирования (М)						М, В		М, В						
	пожарные расчеты (П)			В, П ПС		ПП, П	В, ПС	В, ПС	В, П	В, П, Р	П				
	контрольно-испытательные лаборатории (Л)	А, Л	Г, Л					А, Л		Л					
	службы депрессионных съемок(Д)	А, Д						А, Д			Д				

Таблица 2 - Матрица действий и взаимодействий между МФСБ и МФСЖ
 Table 2 - Matrix of actions and interactions between IFSB and IFSF

1	2	2	1	1	1	1	1	3	3	2	3	3	25
0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	4
0	0	3	0	2	0	2	2	2	3	1	0	0	17
2	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	7
2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	5
Общее число действий и взаимодействий МФСЖА													58/40

одного взаимодействия элементов, в каких-либо натуральных измерителях, т.е. оценить количественно каждый вид взаимодействия, и умножить их на общее число взаимодействий – получим общий синергетический эффект. Здесь есть сложность, которую можно минимизировать, если считать по трудовым затратам времени, и максимизировать, если считать, как то или иное взаимодействие снизило риск и/или потенциал аварии. В любом случае для количественной оценки синергетического взаимодействия необходимо создание математической модели процесса ликвидации аварии. Основы моделирования эндогенной пожароопасности раскрыты Грицко Г.И., Вылегжаниным В.Н. [16] и др., а для горной промышленности в целом Резниченко А.С., Ашихминым А.А. [17]. Основная задача, состоит в моделировании совместного развития систем (процессов) и процесса аварии.

Аксиоматически, выдвигаются 5 вариантов соотношения потенциала взаимодействия МФСЖА ($P_{\text{МФСЖА}}$) и потенциала процесса ава-

рии (P_A) - который также можно представить, и системой, и моделью:

- 1) $P_{\text{МФСЖА}} \ll P_A$ процесс аварии в активной стадии (геометрическая прогрессия роста);
- 2) $P_{\text{МФСЖА}} < P_A$ процесс аварии расширяется (линейный рост);
- 3) $P_{\text{МФСЖА}} = P_A$ противоборство систем (результат неизвестен);
- 4) $P_{\text{МФСЖА}} > P_A$ процесс ликвидации аварии стабилизируется;
- 5) $P_{\text{МФСЖА}} \gg P_A$ процесс ликвидации аварии в активной стадии.

Резюмируя можно утверждать, что на основе логических (1), (2) и общих математических моделей (3), (4) и 5-ти аксиом состояний $P_{\text{МФСЖА}}$ и P_A , для достоверной оценки процесса ликвидации аварий, необходимо создание математических моделей всех подсистем и элементов данного процесса, с акцентом раскрытия наиболее опасных процессов – локализации и ликвидации эндогенных пожаров осложненных взрывами метановоздушной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир 1980. – 405с.
2. Богданов А.А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х к.: Кн. 1/Ред. кол. Л.И. Абалкин (отв.ред) и др./Отд-ние экономики АН СССР. Ин-т экономики АН СССР. – М.: Экономика 1989. – 304с.
3. Вовк И.Г., Бугакова Т.Ю. Основы системно-целевого принятия решений. Учеб. пособие: Сибирская государственная геодезическая академия.: Новосибирск.-2010.-118с
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: Учеб. 2-е изд., доп.- Томск; Изд-во НТЛ, 1997. - 396с.
5. Бабенко А.Г. Теоретическое обоснование и методология повышения уровня охраны труда в угольных шахтах на основе риск-ориентированного подхода и многофункциональных систем безопасности: Автореф. дис. докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 2017. - 44с.
6. Форсюк А.А. Расширение системы обеспечения безопасности основных производственных процессов: Автореф. дис. докт. техн. наук. Москва, 2000. - 35с.
7. Программа VIII Международная горноспасательная конференция IMRB-2017//Уголь №1-2017, С.63
8. Программа Международной научно-практической конференции «Подземная угледобыча XXI век.//АО «СУЭК_Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, сентябрь -2018.-33 с.
9. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory – British J. For Phil. of Sci. 1950, vol., №2, 134 – 165.
10. Gharajedaghi J., Ackoff R.L. Toward Systemic Education of System Scientists. System Research, 1985. Vol.2. N 1. 21-27.
11. Lewandowski A., Werzbicki A/ Theory, Software and Testing Examples in Decision Support System. Working paper WP – 88 – 071, International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria, 1988.
12. Bertalanffy, Ludwig Von. (1968). General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller.
13. Checkland, P. (1981). Systems Thinking, Systems practice. New York: Wiley.

14. Corning, P. (1983). The Synergism Hypothesis: A Theory of Progressive Evolution. New York: McGraw Hill.
15. Hinrichsen, Diederich and Pritchard, A.J. (2005). Mathematical Systems Theory. New York: Springer. ISBN 978-3-540-44125-0
16. Грицко Г.И., Вылегжанин В.Н. О математической модели прогноза эндогенной пожароопасности //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых , 1973.№3. – С.19-22
17. Резниченко А.С., Ашихмин А.А.Математические методы и моделирование в горной промышленности. Учебное пособие . -2-е изд., стрер.- М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001.-404с.

REFERENCES

1. Haken, G.(n.d.) Synergetics. M.: The World Of 1980. – 405p. [In Russian]
2. Bogdanov, A. A. (1989) Tektology: (General organizational science).In 2 K. the Book. 1 / Ed Col. L. I. Abalkin (resp. ed)and others / Otd-tion of the economy of the USSR.In-t economical of the USSR. - Moscow, Economy – 304 p. [In Russian]
3. Vovk, I. G.& Bugakova T. Yu. (2010). Bases of system-target decision-making.Studies'manual: Siberian state Academy of geodesy.: Novosibirsk.[In Russian]
4. Peregudov, F. I.,& Tarasenko, F. P. (1997). Fundamentals of system analysis:Proc.2-e Izd. extra - Tomsk, Izd-vo NTL. [In Russian]
5. Babenko A. G. (2017). Theoretical substantiation and methodology of increasing the level of labor protection in coal mines on the basis of risk-oriented approach and multifunctional safety systems. dis.Doc.tech. sciences. St. Petersburg [In Russian]
6. (2000). The Expansion of the system of safety of the main production processes: auto. dis.Doc.tech. sciences. Moscow [In Russian]
7. The program of the VIII international mine rescue conference IMRB-2017. (2017). Coal No. 1-2017[In Russian]
8. The program of the International scientific-practical conference " Underground coal mining XXI century. (2018). JSC "Suckubus., Leninsk-Kuznetsky, September -2018 [In Russian]
9. Bertalanffy, L. (n.d.). An Outline of General system Theory – British J. for Phil.of Sci. 1950, vol.No. 2, P.134 – 165.
10. Gharajedaghi, J., & Ackoff, R. L. (1985). Toward Systemic Education of System Scientists. System Research,2.(1), 21-27.
11. Lewandowski A.,& Werzbicki A. (1988). Theory, Software and Testing Examples in Decision Support System. Working paper WP – 88 – 071, Internationnal Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria.
12. Bertalanffy, Ludwig Von. (1968). General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller.
13. Checkland, P. (1981). Systems Thinking, Systems practice. New York: Wiley.
14. Corning, P. (1983). The Synergism Hypothesis: a Theory of Progressive Evolution. New York: McGraw Hill.
15. Hinrichsen, D. & Pritchard, A. J. (2005). Mathematical Systems Theory. New York: Springer. ISBN 978-3-540-44125-0
16. Gritsko, G. I., & Vylegzhanin, V. N. (1973). On the mathematical model of the forecast of endogenous fire hazard // Physico-technical problems of mining, 3, 19-22 [In Russian]
17. Reznichenko, A. S.,& Ashikhmin, A. A. (2001). Mathematical methods and modeling in mining industry. Textbook. - 2nd ed., sir.- Moscow: Publishing house of the Moscow state mining University. [In Russian]

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



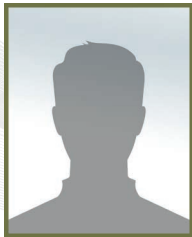
М.Л. Ким// M.L. Kim
kimml@suek.ru

главный технолог ПГР АО «СУЭК», Россия, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, 53, стр. 7.
Chief technologist JSC «SUEK», 53, bldg. 7, Dubininskaja St., Moscow, 115054, Russia



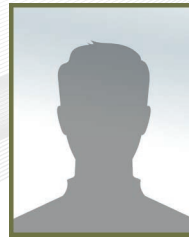
В.Н. Костеренко// V.N. Kosterenko
kosterenkovn@suek.ru

канд. физ.-мат. наук, начальник управления противоаварийной устойчивости предприятий АО "СУЭК", Россия, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, 53, стр. 7.
candidate of physical and mathematical sciences, head of the enterprises emergency department AO "SUEK", 53, bldg. 7, Dubininskaja St., Moscow, 115054, Russia



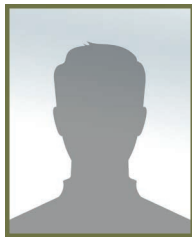
Л.Д. Певзнер// L.D. Pevzner
lpevzner@msmu.ru

д-р техн. наук, проф. московского технического университета МИРЭА, Россия, 119454, г. Москва, пр. Вернадского, 78
Professor of Moscow technology university, «MIREA», 78, Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia



Р.В. Мешеряков// R.V. Meshcheryakov
mrv@ieee.org

д-р техн. наук, проф., гнс ИПУ РАН, Россия, Ленинский проспект, 32 А
Professor Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 32A, Leninsky avenue, Moscow, Russia



А.С. Концевой// A.S. Kontsevov
cigt@mail.ru

научный сотрудник НП ЦИГТ, Россия, 119991 г. Москва, Ленинский проспект, 6
Researcher, CIGT, 6, Leninsky avenue, Moscow, 119991, Russia

УДК 622.86

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ШАХТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА AUTOMATIC TRAJECTORY CONTROL SYSTEM OF THE UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN COAL MINES

В статье представлена система управления движением БПЛА в условиях угольной шахты. Учитываются особенности рудничного воздуха, приведены результаты моделирования.

В статье предоставлены результаты разработки структуры и алгоритмов автоматической системы, которая позволяет обеспечить управляемое траекторное движение БАС по требуемому маршруту в шахтных условиях.

Представлены результаты модельных исследований автоматической системы управления перемещением БПЛА по траекториям полета к месту взрыва и обратно ABCDF и FDCB.

Моделирование управляемого движения квадрокоптера выполнялось по упрощенной программе – беспрепятственное движение по маршруту в системе горных выработок. Цель такого моделирования – получение оценки точности выполнения траекторного движения. Результаты исследования работоспособности алгоритма обхода препятствий не предполагается в данной публикации.

Describes the automatic control system of the unmanned aircraft systems in coal mines with the features of mine air. The article presents model results.

The article presents the results of the development of the structure and algorithms of the automatic system, which allows controlled trajectory movement of the UAS on the required route in the mine conditions.

The results of the model studies of the automatic control system of UAV movement along the flight paths to the explosion site and back ABCDF and FDCB are presented.

The simulation of the controlled motion of the quadcopter was carried out according to a simplified program - unhindered movement along the route in the mine workings system. The purpose of this simulation is to obtain an estimate of the accuracy of the trajectory motion. The results of the study of the performance of the obstacle avoidance algorithm are not intended in this publication.

Ключевые слова: ШАХТА, АВАРИЯ, БЕСПИЛОТНАЯ АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Key words: MINE, ACCIDENT, UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM

Введение

Проблема получения достоверной информации об аварийной обстановке в горной выработке, подвергшейся взрыву или пожару, с целью принятия целесообразных решений для профессиональных аварийно-спасательных формирований¹ остается актуальной сегодня для всех предприятий горнодобывающей промышленности. Предварительный анализ состояния шахтных выработок предполагается выполнить роботизированными средствами в частности автономными беспилотными авиационными системами (БАС), оснащенными соответствующим приборным обеспечением для проведения контроля состава рудничного воздуха и передачи данных.

Выполнить управляемое траекторное движение БАС по требуемому маршруту в шахтных условиях позволяет осуществить автоматическая система, результаты разработки структуры и алгоритмов которой предлагается в настоящей статье.

Разработка системы автоматического управления движением БАС.

Объектом управления системы выбрана БАС Elios. Для составления математической модели движения четырех винтового беспилотного летательного аппарата (БПЛА), квадрокоптера принята расчетная схема, показанная на рис.1, в условиях упрощающих предположений [3, 8]:

- БПЛА симметричен относительно главных осей;
- рама БПЛА является твердым телом и его винты абсолютно жесткие;
- двигатели идентичные располагается на конце стержней;
- тяга, создаваемая винтом, перпендикулярна плоскости винтов;
- не учитываются в силу малости: изменение вектора подъемных сил за счет эффекта биения лопастей; гироскопические моменты двигателей и винтов; эффект отражения потока

воздуха от земли при посадке и взлете;

- воздействие потока воздуха в выработке учитывается как внешнее возмущение.

Движение БПЛА рассматривается в неподвижной – инерциальной системе координат $S_0 = \{O_0, X_0, Y_0, Z_0\}$, связанной с Землей, и в подвижной системе координат $S = \{O, X, Y, Z\}$, связанной с квадрокоптером. Для описания перемещения БПЛА в пространстве используются координаты $\{x, y, z\}$ в неподвижной системе координат и в подвижной системе координат углы Эйлера $\{\varphi, \theta, \psi\}$ – крена, тангажа и рыскания соответственно.

Каждый двигатель БПЛА вращает вал воздушного винта с частотой $\omega_i, i = \overline{1, 4}$ создает подъемную силу $M_i, i = \overline{1, 4}$ и моменты сопротивления вращения $M_i, i = \overline{1, 4}$. БПЛА имеет шесть степеней свободы, которые определяются тремя эйлеровыми углами φ, θ, ψ и тремя декартовыми x, y, z координатами центра масс. На БПЛА действует сила тяжести $G = mg$, силы сопротивления движению $Q(t)$, а также подъемные силы F_i от каждого пропеллера. По теореме Жуковского [6] подъемная сила пропеллера определяется соотношением:

$$F_i(t) = c_F \rho(t) r^2 S \omega_i^2(t), i = \overline{1, 4}, \quad (1)$$

в котором c_F – коэффициент тяги, $\rho(t)$ – изменяемая плотность воздуха, r – радиус ротора и площадь диска, который образует винт соответственно.

Моменты на валах пропеллеров определяются из выражений:

$$M_i(t) = c_M \rho(t) r^3 S \omega_i^2(t), i = \overline{1, 4}, \quad (2)$$

в котором c_M – конструктивная постоянная.

Главный вектор подъемной силы – суммарный вектор тяги равен

$$F(t) = \left(0 \quad 0 \quad \sum_{i=1}^4 F_i \right)^T. \quad (3)$$

Осевые моменты вращения – проекции главного момента на соответствующие оси подвижной системы координат определяются из выражений

$$\begin{aligned} M_x(t) &= (F_2(t) - F_4(t))L, \quad M_y(t) = (F_3(t) - F_1(t))L, \\ M_z(t) &= M_1 + M_3 - M_2 - M_4, \end{aligned} \quad (4)$$

¹ Федеральный закон от 22.08.1995 N 151-ФЗ Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей (с изменениями на 18 июля 2017 года) (редакция, действующая с 16 января 2018 года)

где L – расстояние между центром масс и осями пропеллеров.

Вектор тяги и осевые моменты являются управляющими воздействиями для формирования движения квадрокоптера

$$u_1(t)=F(t), u_2(t)=M_x(t), u_3(t)=M_y(t), u_4(t)=M_z(t) \quad (5)$$

Управляющие воздействия пропорциональны квадрату частоты вращения пропеллеров, которые формируются электроприводами. В приводах пропеллеров используются бесщеточные электродвигатели постоянного тока, математическая модель которых представляется линейным динамическим звеном второго порядка.

Математическая модель движения БПЛА описывается в неподвижной инерциальной системе S_0 , а аэродинамические силы и моменты – в подвижной системе координат S . Преобразование $S \rightarrow S_0$ формируется преобразованием переноса вдоль вектора OO_0 и композицией трех преобразований поворота вокруг соответствующих осей. Скалярная модель движения квадрокоптера в координатах неподвижной системы, полученная методом Лагранжа, имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{d^2x(t)}{dt^2} &= \frac{u_1(t)}{m} (\cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi) - \frac{Q_x(t)}{m}, \\ \frac{d^2y(t)}{dt^2} &= \frac{u_1(t)}{m} (\cos \varphi \sin \theta \sin \psi - \sin \varphi \cos \psi) - \frac{Q_y(t)}{m}, \\ \frac{d^2z(t)}{dt^2} &= \frac{u_1(t)}{m} \cos \varphi \cos \theta - \frac{Q_z(t)}{m} - g. \end{aligned} \quad (6)$$

Скалярное представление динамической модели вращения БПЛА имеет вид

$$\begin{aligned} J_x \frac{dV_x}{dt} &= (J_y - J_z)V_y V_z + u_2(t), \\ J_y \frac{dV_y}{dt} &= (J_z - J_x)V_x V_z + u_3(t), \\ J_z \frac{dV_z}{dt} &= (J_x - J_y)V_y V_x + u_4(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнения динамики движений (6,7) вместе с кинематическими уравнениями Эйлера (8) составляют искомую математическую модель движения БПЛА

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= V_x + V_y \frac{\sin \varphi \sin \theta}{\cos \theta} + V_z \frac{\sin \theta \cos \varphi}{\cos \theta}, \\ \frac{d\theta}{dt} &= V_y \cos \varphi - V_z \sin \varphi, \\ \frac{d\psi}{dt} &= V_y \frac{\sin \varphi}{\cos \theta} + V_z \frac{\cos \varphi}{\cos \theta}. \end{aligned} \quad (8)$$

Текущее положение БПЛА в неподвижном

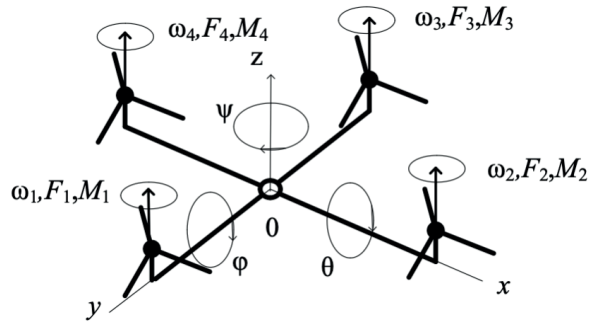


Рисунок 1. Расчетная схема квадрокоптера
Figure 1. Quadcopter design scheme

пространстве определяется шестью координатами $(x, y, z, \varphi, \theta, \psi)$. Задаваемая для предстоящего движения квадрокоптера траектория, формируется как параметрическая функция в естественных переменных

$$\begin{aligned} H(x_{зад}, y_{зад}, z_{зад}): x_{зад}(t) &= f_x(t), y_{зад}(t) = f_y(t), \\ z_{зад}(t) &= f_z(t). \end{aligned}$$

Структура системы автоматического слежения за траекторией строится по канонической схеме, в которой, как показано на рис. 2, регулятор, представленный блоком 1, на основе текущих отклонений каждой координаты положения центра масс от заданного, формирует управляющие воздействия $u_{M_i}(t), i=1, 4$ на четыре электропривода пропеллеров. Блоком 2 представлены четыре электропривода, которые выработывают вращающие моменты на винты, заставляя их вращаться с частотой $\omega_i(t), i=1, 4$. Блоки 3,4 моделируют уравнения (1,2), формируя подъемные силы $F_i(t), i=1, 4$ и осевые моменты $M_i(t), i=1, 4$ пропеллеров. В блоке 5 формируются управляющие функции: $u_1(t)$ – результирующая нормированная тяга; $u_2(t), u_3(t), u_4(t)$ – управляющие функции для крена, тангажа и рысканья соответственно.

В блоке 6 выполняется переход от подвижной системы координат к неподвижной, формируя текущие значения углов крена, тангажа и рысканья. В блоке 7 моделируются процессы (6), выходными сигналами блока являются текущие координаты положения центра масс квадрокоптера в неподвижной системе координат. Эти сигналы формируют отрицательную обратную связь в системе траекторного управления.

Для проверки работоспособности алгоритма управления траекторным движением квадрокоптера [4] выполнялись экспериментальные исследования моделированием с использованием среды динамического моделирования *Simintech*

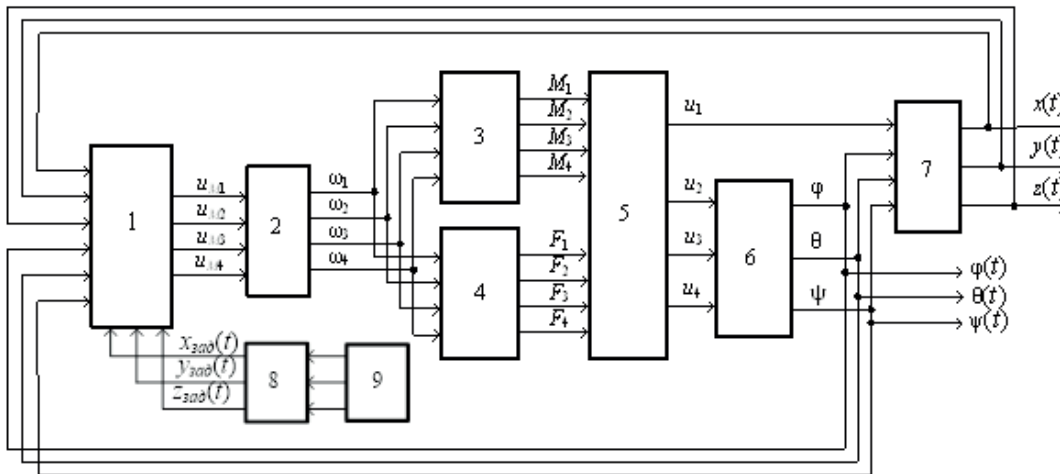


Рисунок 2. Структура автоматической системы отслеживания траектории
Figure 2. The structure of the automatic trajectory tracking system

[5] на основе соотношений (6,7,8).

Для компьютерного моделирования использовались параметры квадрокоптера *Elios* с размахом в 0,2 м, массой 0,7 кг. Матрица осевых моментов инерции

$$J = \text{diag}(0,002352, 0,002352, 0,004704) \text{ кгм}^2/\text{с}^2$$

Привод воздушных винтов составляют электродвигатели постоянного тока X2212 KV980 с линейной характеристикой частоты вращения от величины питающего напряжения $\omega_i = 102,6 u_{M_i}, i = 1,4$, которое принимает значения в диапазоне 0 - 11,1В.

Возникающие в реальных условиях шумы и задержки сигналов в приборах определения угловой ориентации и местоположения в неподвижной системе координат, используемые для формирования обратных связей в системе управления, при моделировании не учитывались.

Метод экспериментальной настройки ПИД-регулятора, подключенного к объекту управления, включал последовательные этапы настройки пропорциональной составляющей, интегральной и дифференциальной составляющей на основе анализа влияния изменений коэффициентов на динамику системы.

Силы возмущения, действующие на БПЛА в шахтных условиях, порождаются воздушными потоками, вектор которых может быть направлен встречно, ортогонально или попутно. Эти возмущающие воздействия задаются в уравнения (6) математической модели движения БПЛА в виде непрерывной или импульсной функции времени $Q_x(t), Q_y(t), Q_z(t)$. Внешнее воздействие в виде силы аэродинамического сопротивления имеет вид [3]

$$Q(t) = 0,5c_d \rho(t)v^2(t)S, \quad (9)$$

где c_d – коэффициент аэродинамической силы, ρ – плотность среды, v – скорость набегающего потока воздуха, м/с; S – площадь поверхности БАС *Elios*, на которую действует набегающий поток, м².

Скорость набегающего потока воздуха задана по таблице 1.

В шахтных выработках аварийного участка возможны достаточно существенные изменения плотности рудничного воздуха по пути движения БПЛА, что ведет к изменению подъемной силы винтов БПЛА и, как следствие, возможны существенные отклонения от заданной траектории движения.

Согласно [1] при нормальных условиях при +20 °С и давлении 101,3 кПа плотность воздуха шахтной атмосферы составляет 1,188 кг/м³ и в аварийных условиях пожара может составлять 0,462 кг/м³ (в том числе при высокой температуре и 100% метановой атмосфере). При

Таблица 1 - Скорость набегающего потока воздуха
Table 1 - Air flow velocity

№	Временной интервал, с	V_{Qx} , м/с	V_{Qy} , м/с	V_{Qz} , м/с
1	0 < t < 34	10	0	0
2	0 < t < 10	0	5	1
	11 < t < 20	10	5	1
	21 < t < 30	0	5	1
	31 < t < 34	10	5	1
3	0 < t < 10	5	1	0
	11 < t < 20	5	1	10
	21 < t < 30	5	1	0
	31 < t < 34	5	1	10
4	0 < t < 10	5	10	5
	11 < t < 20	5	0	5
	21 < t < 30	5	10	5
	31 < t < 34	5	0	5

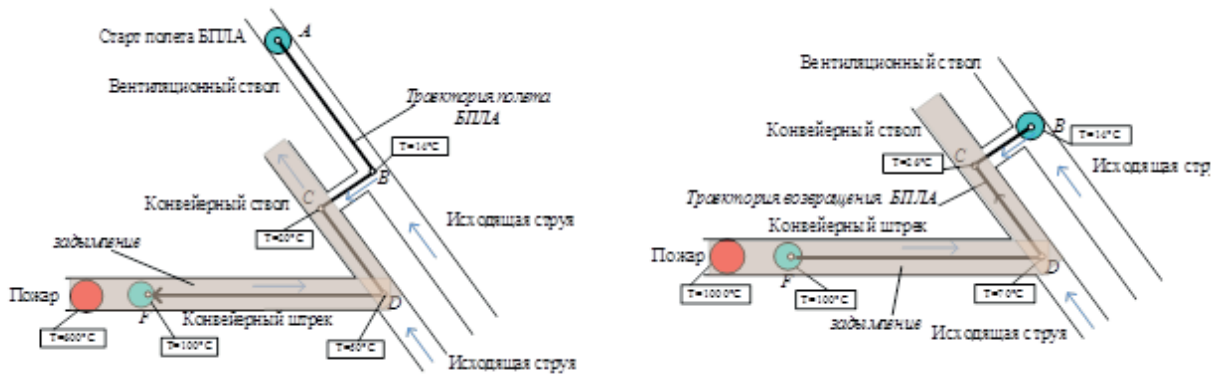


Рисунок 3 Маршруты перемещения БПЛА к месту аварии и обратно
 Figure 3 Routes for moving the UAV to the accident site and back

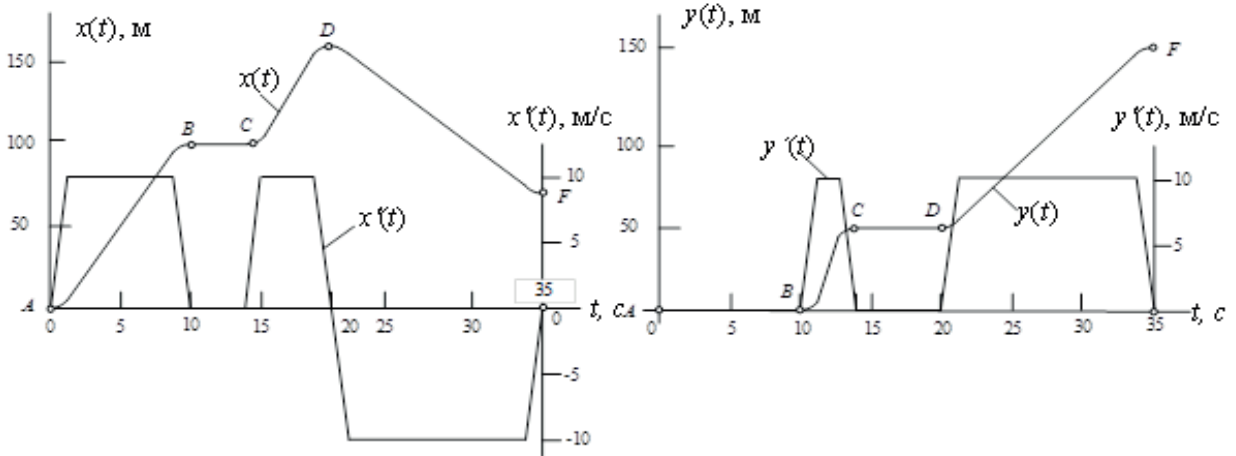


Рисунок 4. Кривые программного задания траектории движения
 Figure 4. Curves of the software task of the motion path.

моделировании принято линейное изменение плотности воздуха от $1,188 \text{ кг/м}^3$ до $0,462 \text{ кг/м}^3$ вдоль всей траектории маршрута.

Целью компьютерного моделирования управления движением квадрокоптера по траектории является исследование работоспособности алгоритмов управления в различных режимах полета по заданным траектории в пространственно стесненных условиях [2, 7], при наличии возмущений шахтными воздушными потоками переменных значения плотности рудничного воздуха.

Задача управления траекторным полетом квадрокоптера представляется как последовательность задач перелета из точки в точку маршрута по кускам прямолинейных траекторий.

Система управления полетом является следящей канонической структуры и предназначена для воспроизведения задаваемой траектории полета. Формирование траектории полета

осуществляется по схеме: задание скорости движения БПЛА по каждой декартовой координате как функции времени, интегрирование этой функции с указанием начальных условий и времени интегрирования.

В структуре системы имеется блок формирования траекторий задания на обработку алгоритма обхода препятствия, вход которого связан с устройством технического зрения, а выход с командным блоком задания траекторий движения. На рис. 3 представлены маршруты перемещения БПЛА к месту возникновения аварии и обратно, с указанием места старта и финиша.

Расстояние пролетов: $AB - 100\text{м}$, $BC - 40\text{м}$, $CD - 60\text{м}$, $DF - 150\text{м}$. На участке маршрута BC БПЛА летит с попутным воздушным потоком, на участках маршрута AB , CD , DF – с встречным воздушным потоком. Скорость попутного и встречного воздушного потока – 10м/с . Скорость полета БПЛА при отсутствии возмущающего воз-

душного потока равна 10м/с. На основании выбранного маршрута сформированы задания на движение в декартовых координатах. На рис.4 показаны кривые задания по двум координатам движения

Результаты моделирования, один из которых представлен на рис. 5, демонстрируют качество работоспособность алгоритма управления движением квадрокоптера. Линейное отклонение координат движения квадрокоптера от заданной траектории составляет не более 30см по каждой координате. Наибольшие отклонения имеют место в местах смены направления движения, как видно из рис. 6.

Заключение.

Результаты модельных исследований автоматической системы управления перемещением БПЛА по траекториям полета к месту взрыва и обратно ABCDF и FDCB, показали удовлетворительное качество слежения.

Моделирование управляемого движения квадрокоптера выполнялось по упрощенной программе – беспрепятственное движение по маршруту в системе горных выработок. Цель такого моделирования – получение оценки точности выполнения траекторного движения. Результаты исследования работоспособности алгоритма обхода препятствий не предполагается в данной публикации.

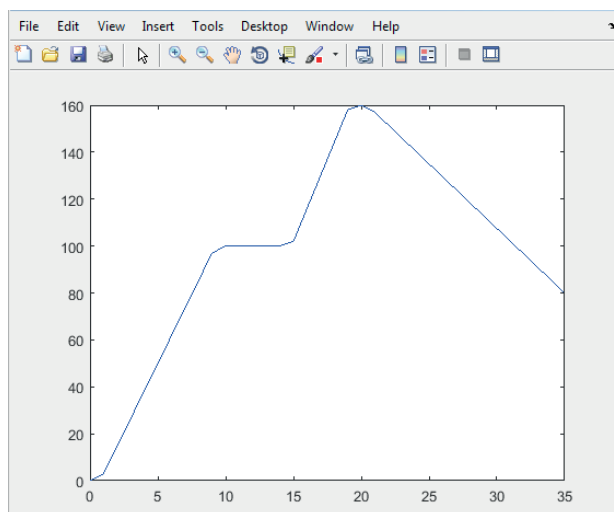


Рисунок 5. Выполнение задания движения по траектории $x(t)$
Figure 5. Execution of the task of movement along the trajectory $x(t)$

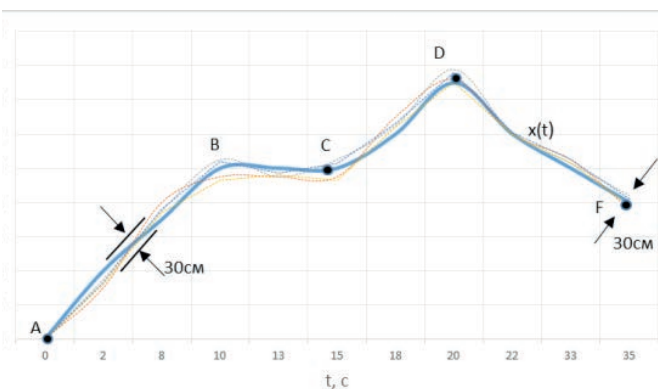


Рисунок 6. Общий вид траекторного движения в плоскости.
Figure 6. General view of the trajectory motion in the plane.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айруни А.Т. Взрывоопасность угольных шахт / А.Т. Айруни, Ф.С. Клебанов. О.В. Смирнов. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 264 с.: ил., табл. Серия «Библиотека горного инженера». Т.9 «Рудничная аэрология». Кн. 2.
2. Ананьев П.П., Мещеряков Р.В., Костеренко В.Н., Ким М.Л., Концевой А.С. Управление РТК для мониторинга и обследования подземных выработок // Прогресс транспортных средств и системы-2018: Материалы международной научно-практической конференции. Волгоград, 2018 г. – С. 164-165.
3. Белинская Ю. С., Четвериков В. Н. Управление четырехвинтовым вертолетом // Наука и образование. М.: Изд-во МГТУ. 2012, С. 157-171.
4. Волобуев М.Ф. Методика оценки точности автоматической системы посадки самолета в условиях воздействия случайных возмущений / М.А. Замыслов, С.Б. Михайленко, С.В. Орлов // Сборник докладов XII МНТК «К и ВТ XXI века», том 2. Воронеж, НПФ «САКВОЕЕ», 2011. 878 с.
5. Карташов Б.А., Козлов О.С., Шабаетов Е.А., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech, М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2017, 424 с.
6. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П., Евстигнеев Д.В. Интеллектуальная система управления автоматической посадкой беспилотного летательного аппарата на основе комплексного применения технологии нечеткой логики // Новые методы управления сложными системами. Москва, Наука, 2004.
7. Ким М.Л., Родичев А.С., Певзнер Л.Д., Платонов А.К. О возможности использования мобильных робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах // Уголь. – 2018. - №1. – С.34-38.
8. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 312 с.

REFERENCES

1. Babokin, I. A. (1989). Upravleniye bezopasnost'yu truda na gornom predpriyatii [Mining safety management]. Moscow:

Nedra. [In Russian]

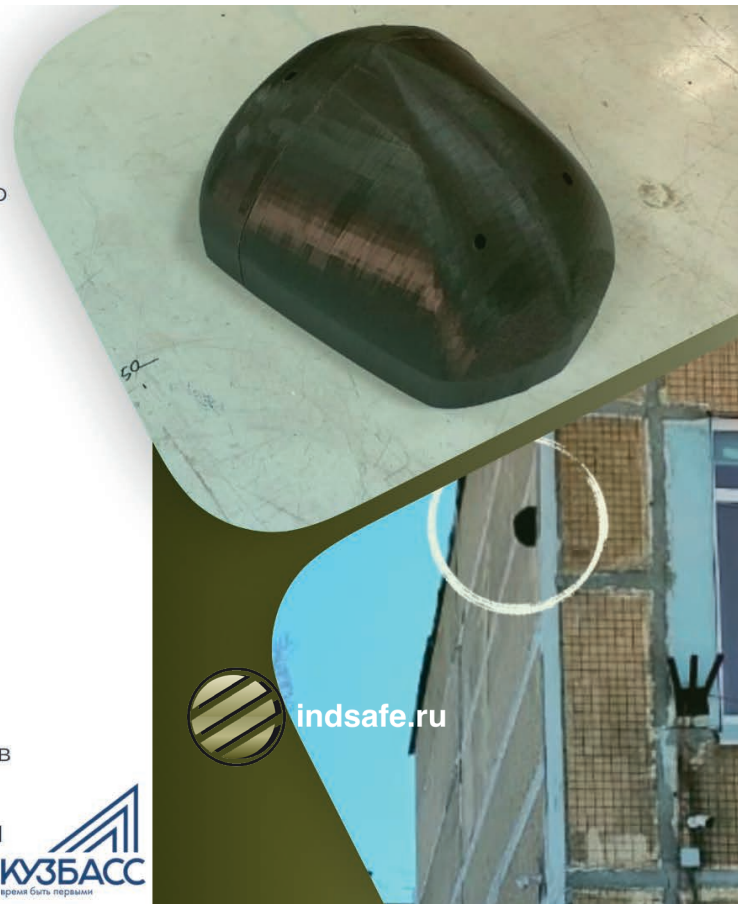
2. Anan'ev P.P., Meshcheryakov R.V., Kosterenko V.N., Kim M.L., Koncevoj A.S. Upravlenie RTK dlya monitoringa i obsledovaniya podzemnyh vyrabotok // Progress transportnyh sredstv i sistemy-2018: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Volgograd, 2018 g. – S. 164-165.
3. Belinskaya Yu. S., Chetverikov V. N. Upravlenie chetyrekhvintovym vertoletom // Nauka i obrazovanie. M.: Izd-vo MGTU. 2012, S. 157-171.
4. Volobuev M.F. Metodika ocenki tochnosti avtomaticheskoy sistemy posadki samoleta v usloviyah vozdeystviya sluchajnyh vozmushchenij / M.A. Zamyslov, S.B. Mihajlenko, S.V. Orlov // Sbornik dokladov XII MNTK «K i VT XXI veka», tom 2. Voronezh, NPF «SAKVOEE», 2011. 878 s.
5. Kartashov B.A., Kozlov O.S., Shabaev E.A., Shchekaturov A.M. Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech, M.: Izd-vo DMK-Press, 2017, 424 s.
6. Makarov I.M., Lohin V.M., Man'ko S.V., Romanov M.P., Evstigneev D.V. Intellektual'naya sistema upravleniya avtomaticheskoy posadkoj bespilotnogo letatel'nogo apparata na osnove kompleksnogo primeneniya tekhnologii nechetkoj logiki // Novye metody upravleniya slozhnymi sistemami. Moskva, Nauka, 2004.
7. Kim M.L., Rodichev A.S., Pevzner L.D., Platonov A.K. O vozmozhnosti ispolzovaniia mobilnih robototekhnicheskikh letatel'nykh apparatov pri vipolnenii operativnogo plana likvidatsii avarii ya shahtah // Ugol'. – 2018. - №1. – С.34-38.
8. Rendal U. Biard, Timoti U. MakLejn. Malye bespilotnye letatel'nye apparaty: teoriya i praktika. Moskva: TEHNOSFERA, 2015. – 312 c.

СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Автоматизированный модульный комплекс экологического мониторинга для контроля параметров атмосферы и загрязняющих веществ

- Компактность и модульность (контроль любых газов)
- Быстрота конфигурации
- Онлайн в режиме реального времени
- Низкое энергопотребление
- Российское собственное производство
- Цена
- Открытая API для сторонних разработчиков ПО и датчиков

Установлена в рамках пилотного проекта для контроля атмосферы в г Новокузнецк





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

канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБУН "ФИЦ УУХ СО РАН", Россия, 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10.
candidate of technical sciences, assistant professor, senior researcher of Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Av., Kemerovo, 650065, Russia

УДК 681.518.5

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ КУЗБАССА NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF CRUSHING AND SCREENING EQUIPMENT AT KUZBASS COAL PREPARATION PLANTS

Аннотация. В данной статье приведены некоторые результаты исследований параметров механических колебаний дробильно-сортировочного, горно-транспортного и углеобогачительного оборудования, что позволило создать задел для создания единых диагностических критериев, пригодных для выполнения оценки и прогнозирования процесса изменения технического состояния обследуемого оборудования. Целью работы являлась разработка направления для совершенствования существующих методологий нормирования вибрации и оценка эффективности предложенных рекомендаций по выбору методов и средств для осуществления комплексного подхода к диагностике сложных механических систем. На примере одного из наиболее распространенных конструктивных элементов энерго-механического оборудования горных машин разработана методология создания единых диагностических критериев оценки фактического состояния горного оборудования. В рамках выполнения работ по настоящей тематике был использован комплексный подход к диагностике, который включает в себя спектральный анализ в расширенном частотном диапазоне, эксцесс, анализ огибающей, вейвлет-преобразование, анализ характеристики разгона/выбега, анализ временной реализации сигнала. Доказано, что именно такое сочетание методов вибродиагностики позволяет проводить эффективный анализ параметров вибрации даже в тех случаях, когда результаты анализа не позволяют найти четкую ассоциативную связь между параметрами сигнала и наличием повреждений, затрудняя анализ и не позволяя своевременно выявлять дефекты энерго-механического оборудования, в том числе находящиеся на стадии зарождения. Полученные научные результаты доказывают эффективность предложенного подхода к совершенствованию методологии нормирования параметров вибрации, генерируемой при работе дробильно-сортировочного и углеобогачительного оборудования. Реализация на практике результатов анализа и прогнозирования с использованием единых диагностических критериев послужит базовым элементом при внедрении на предприятиях Кузбасса системы обслуживания техники по её фактическому состоянию.

Abstract. This article presents some mechanical vibration parameters research results of crushing and screening, mining and transporting and coal preparation equipment, which allowed us to create the groundwork for creating uniform diagnostic criteria suitable for performing assessment and forecasting of the mining equipment technical condition changing process.

The aim of the work is the directions development for the improvement of existing methodologies of vibration rationing and determination of the effectiveness of the proposed recommendations on the choice of methods and tools for the implementation of an integrated approach to the diagnosis of complex mechanical systems. Using the example of one of the most common structural elements of energy-mechanical equipment of mining machines, it is clear to show the methodology for creating uniform diagnostic criteria for assessing the actual condition of mining equipment.

As part of the work on this topic, an integrated approach to diagnostics was used, which includes spectral analysis in the extended frequency range, excess, envelope analysis, wavelet transform, acceleration /

overrun characteristics analysis, signal time realization analysis. It is proved that just such a combination of vibration diagnostic methods allows an effective analysis of vibration parameters even in those cases when the analysis results do not allow to find a clear associative link between signal parameters and the presence of damage, making analysis difficult and not allowing the energy-mechanical equipment defects detecting on time; including those which are just forming. The obtained scientific results prove the effectiveness of the proposed approach to the rationing methodology improvement of the vibration parameters generated during the crushing, screening and coal preparation equipment operation.

The practical implementation of analysis and forecasting results using the uniformed diagnostic criteria will serve as a basic element when introducing a service system for Kuzbass enterprises equipment according to its actual condition.

Ключевые слова: ВИБРОДИАГНОСТИКА, ДРОБИЛЬНО-СОТИРОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ.

Key words: VIBRATION-BASED DIAGNOSTICS, CRUSHING AND SCREENING EQUIPMENT, FORECAST MODELING, MAINTENANCE MANAGEMENT.

Обеспечение безопасной эксплуатации горного оборудования является важнейшей задачей развития угольной промышленности России. Эффективного решения этой задачи невозможно добиться без широкого использования методов и средств неразрушающего контроля и внедрения элементов системы обслуживания техники по ее фактическому состоянию.

На сегодняшний день единственным методом неразрушающего контроля, позволяющим практически мгновенно получать достоверную информацию о фактическом состоянии работающего энерго-механического оборудования является анализ параметров вибрации [1, 2]. На базе лабораторий Института угля ФИЦ УУХ СО РАН и ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» ведутся исследования в области виброанализа и прогнозного моделирования процессов деградации технического состояния оборудования горных машин, в том числе работы по определению характеристик допустимого состояния предельно изношенных машин и механизмов.

В рамках выполненных работ были рассмотрены особенности проведения расширен-

ного анализа параметров виброакустических волн, генерируемых при работе горно-транспортного, дробильно-сортировочного и углеобогатительного оборудования (см. примеры схем проведения замеров на рисунке 1).

Анализ данных параметров вибрации, полученных при обследовании выборки, состоящей из более чем ста единиц дробильно-сортировочного и углеобогатительного оборудования (ленточные и скребковые конвейера, грохота, насосное оборудование, элеваторы, питатели, аспирационные установки, сгустители радиальные, дробильно-классификационные установки, машины проборазделочные, перегружатели скребковые, лебедки тяговые, компрессора, железоотделители и т.д.) позволил заключить, что на данном оборудовании наибольшее распространение получили следующие основные типы дефектов: неуравновешенность вращающихся деталей, нарушение соосности узлов и агрегатов, дефекты подшипниковых узлов (перекосы, ослабления посадок, увеличение зазоров, износы беговых дорожек, тел качения и сепараторов, нарушение режима смазки), дефекты элементов соединительных муфт, износ рабочих элементов

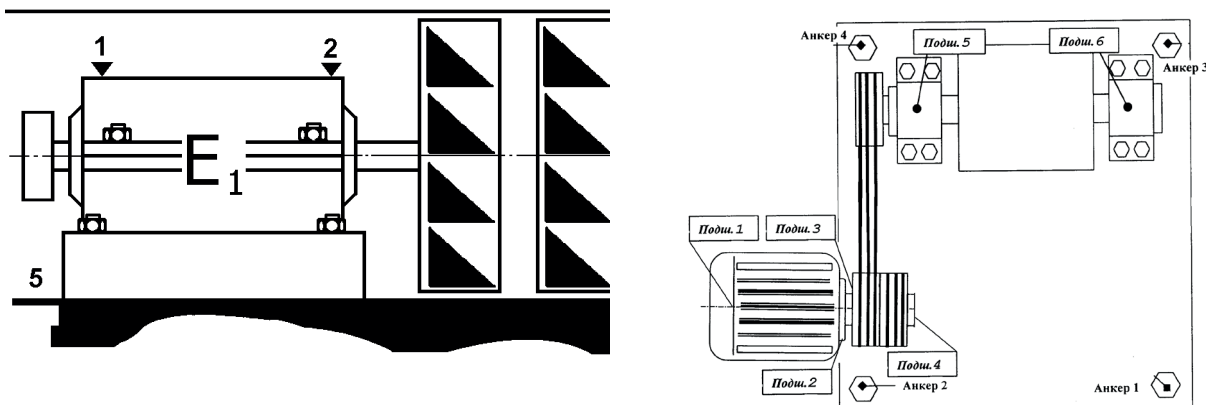


Рисунок 1. Схема проведения замеров параметров вибрации на грохоте ГИСТ-72 А и щековой дробилке СМД-118
Figure 1. Scheme of vibration parameters measuring at the screen GIST-72 A and jaw crusher SMD-118

насосов и компрессоров, дефекты электрической природы на двигателях (магнитная асимметрия якоря, перекося фаз, смещение в магнитном поле и т.д.), нарушение жесткости системы, структурный резонанс. На представленных ниже рисунках 2 – 5 приведены примеры спектров, иллюстрирующие наличие некоторых дефектов, наиболее характерных для данного типа оборудования.

Так, на рисунке 2 приведен пример анализа параметров виброакустической волны, содержащей признаки наличия множественных дефектов подшипника качения – задира внутреннего кольца, гранности тел качения и нарушения режима смазки. Повреждения подшипниковых узлов являются одним из наиболее распространенных дефектов дробильно-сортировочного и углеобогачительного оборудования, более 30% обследованных в рамках выполнения настоящей работы механизмов имеют признаки наличия дефектов такого рода. Причины возникновения дефектов зачастую различны, однако все они могут быть классифицированы по некоторым наборам частотных признаков и степени опасности, которую представляет дальнейшее развитие колебательных процессов.

Вопросам эффективности использования результатов комплексного подхода к анализу параметров вибрации посвящен целый ряд работ отечественных и зарубежных авторов, в частности [3, 4, 5, 6]. С учетом значительного износа механизмов диагностируемого оборудования, конструктивных и кинематических особенностей, а также условий эксплуатации дробильно-сортировочного, горнотранспортного и углеобогачительного оборудования становится очевидным, что применение для диагностирования и прогно-

зирования процессов деградации технического состояния только лишь одного-единственного метода вибрационного контроля является недостаточным, что подтверждают результаты проведенных исследований [5, 7]. Таким образом, именно комплексное использование результатов анализа параметров полигармонических волн с применением различных диагностических методологий на практике даст возможность эффективно оценить фактическое состояние сложных механических систем. Конкретное сочетание методов контроля определяется только типом объекта диагностирования и режимами его работы. Представленный ниже рисунок 3 иллюстрирует некоторые преимущества использования принципов комплексного диагностического подхода, в данном случае, возможность подтверждения правильности поставленного диагноза в ситуации, допускавшей неоднозначное толкование результатов диагностирования. При помощи реализации метода анализа выбега роторного агрегата здесь удалось установить четкую ассоциативную связь между наличием гармонической активности на частотах, свойственных нарушению жесткости опорной системы и дефектом электрической природы.

Наиболее эффективных результатов при диагностировании по параметрам механических колебаний приводов дробильно-сортировочного и углеобогачительного оборудования удается достичь при условии комплексного использования нескольких диагностических методов: спектрального анализа в стандартном и расширенном частотных диапазонах, анализа огибающей и эксцесса [5, 8]. В некоторых случаях к указанной совокупности целесообразно добавить метод анализа разгона/выбега роторного агрегата,

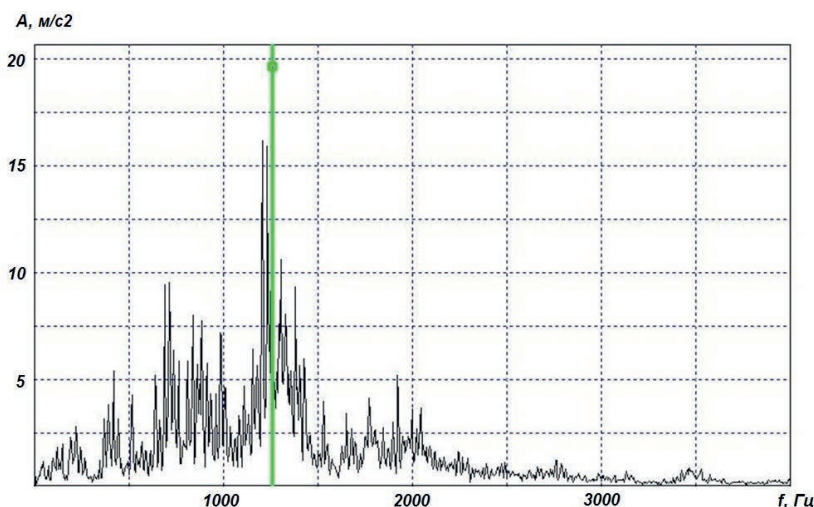


Рисунок 2. Множественные дефекты подшипника электродвигателя грохота цилиндрического ГЦЛ-3

Figure 2. Cylindrical screen GTSL-3 electric motor bearing multiple defects

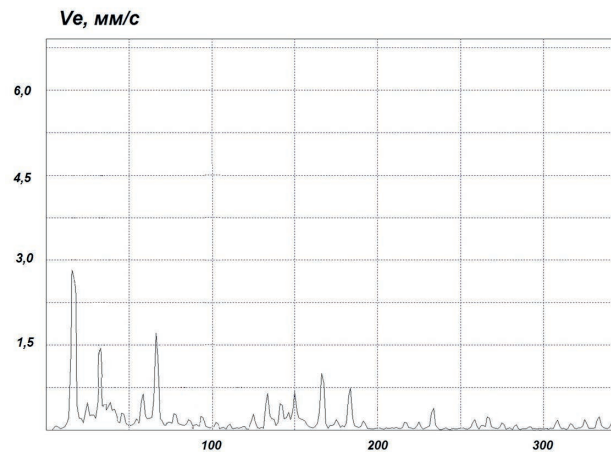
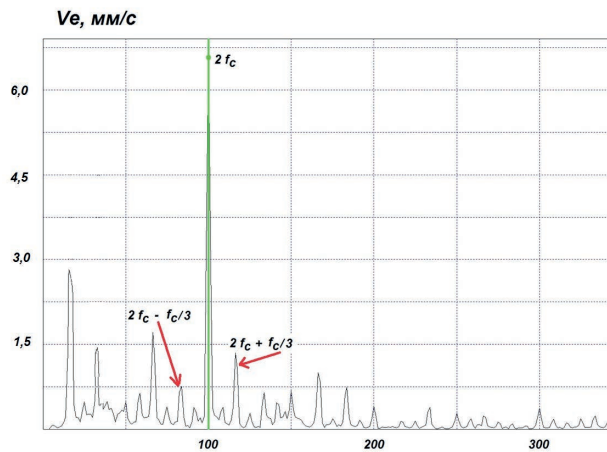


Рисунок 3. Дефект электрической природы на примере электродвигателя дробилки СМД-108

Figure 3. Electrical nature defect on the crusher SMD-108 electric motor example

что не только позволяет подтвердить наличие дефекта, но и помочь в его классификации, например, с применением алгоритмов фильтрации сигнала и анализа огибающей.

Одним из направлений реализации предложенной концепции является разработка комплекса диагностических правил, пригодного для выявления признаков наличия всех основных типов дефектов энерго-механического оборудования и осуществления прогнозного моделирования процессов деградации фактического состояния технических устройств, эксплуатируемых на опасных производственных объектах. Главным преимуществом такого подхода к диагностике сложных механических систем по параметрам генерируемой при их работе вибрации является то, что он позволяет использовать на практике отдельные базовые элементы системы обслуживания техники по её фактическому техническому состоянию и отказаться от повсеместного использования на угольных предприятиях Кузбасса системы планово-предупредительных ремонтов.

Представленный на рисунке 4 спектр иллюстрирует наличие одного из наиболее распространенных дефектов. Нарушение жесткости опорной системы в той или иной форме встречается более чем у 80% обследованных технических устройств [5]. Частотные признаки, соответствующие данному дефекту, перекрывают большое количество гармонических рядов и могут практически вплоть до 0,1 Гц совпадать с признаками дефектов иной природы. Поэтому при выявлении данного дефекта, помимо применения сторонних диагностических методологий, также рекомендуется выполнение визуально-измерительного контроля крепежных элементов,

анкеров, силовых рам и фундамента обследуемых технических устройств.

Кроме прочего, достаточно широкое распространение на дробильно-сортировочном оборудовании получили расцентровка привода и/или нарушение соосности установки шкивов ременной передачи [5, 9, 10].

С данными дефектами соотносится большое количество диагностических признаков, большая часть которых находится в области частотного анализа. Основными признаками нарушения центровки является присутствие гармонического ряда обратной частоты вплоть до шестой гармоники, причем максимум активности обычно приходится на ту плоскость пространственного положения агрегата, в которой необходимо предпринять меры восстановительного характера (см. пример на рисунке 5). Кроме расцентровки, машинам, оборудованным ременной передачей, свойственны все ее типичные дефекты – растрескивание, биение, перекручивание ремней, что вызывает активность на гармонических рядах частоты ремня, её субгармониках и обертонах. Амплитуды этих гармоник обычно незначительны, однако из-за их большого числа они могут вносить заметный вклад в общий уровень вибрационного сигнала.

Максимумы амплитуд отдельных гармоник и их сочетаний зависят от ряда разных причин, будь то степень повреждения, конструктивные или кинематические особенности механизмов. Данные исследований, полученные в ходе выполнения цикла работ по данной тематике, были обобщены и использованы для разработки единых критериев оценки, пригодных для выполнения анализа состояния предельно изношенной горной техники и создания прогнозных матема-

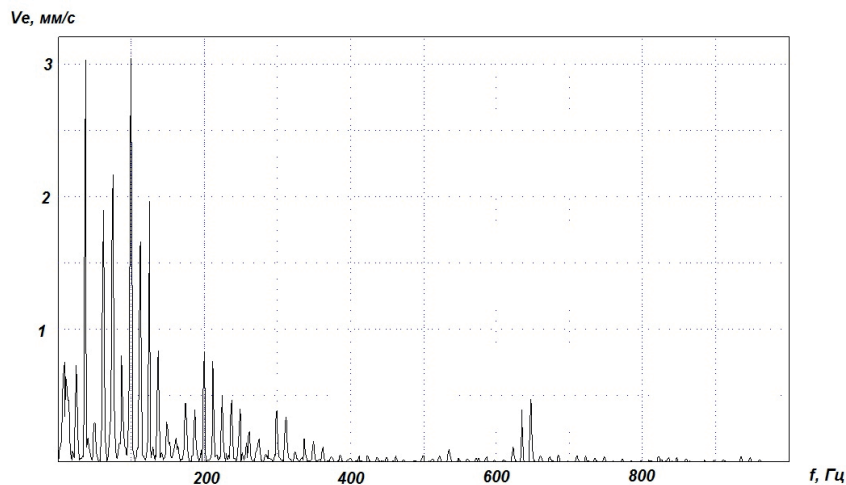


Рисунок 4. Общее некритичное нарушение жесткости системы. Электродвигатель дробилки СМ-16Д
Figure 4. System stiffness general non-critical violation. SM-16D crusher electric motor

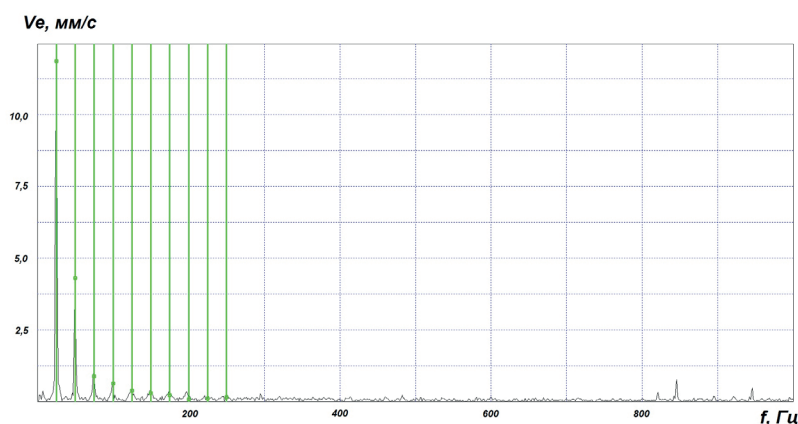


Рисунок 5. Расцентровка шкивов привода дробилки СМД-118
Figure 5. Crusher SMD-118 drive pulley misalignment

тических моделей.

Анализ регистрируемых данных по параметрам вибрации горнотранспортного, углеобогачительного и дробильно-сортировочного оборудования позволил осуществить классификацию дефектов приводов по базовым группам в зависимости от причин возникновения и степени опасности для удобства реализации на практике создаваемых единых критериев оценки состояния сложных механических систем. Была проведена работа по формализации более ста двадцати признаков, большая часть из которых находится в области спектрального анализа, и только около 15-20% от общей совокупности составляют диагностические правила выявления дефектов энерго-механического оборудования при помощи методов анализа огибающей, эксцесса, анализа характеристик разгона/выбега. Такое распределение признаков объясняется сложностью формализации диагностических правил применительно к решению задачи по разработке единых диагностических критериев оценки фактического состояния работающих агрегатов [5, 8, 11]. В результате было сформиро-

вано несколько групп диагностических признаков, пригодных для создания единых диагностических критериев оценки технического состояния приводов дробильно-сортировочного и углеобогачительного оборудования.

В качестве примера ниже приведен набор базовых признаков, использованный при создании единого критерия оценки технического состояния подшипников качения, включающий в себя следующие основные диагностические критерии:

1. Общий уровень среднеквадратических значений виброскорости и виброускорения в стандартном и расширенном частотных диапазонах.
2. Анализ гармонической активности на подшипниковых частотах, их субгармониках и обертонах с учетом их флуктуации.
3. Глубина модуляции спектра огибающей вибросигнала в области подшипниковых частот.
4. Анализ с применением эксцесса.
5. Мера подобия, определяемая по результатам сравнения характеристик вейвлет-преобразования и временной волны реального и «эта-

лонного» сигналов.

6. Результаты нормирования параметров вибрации при помощи спектральных масок.

Для каждого из базовых конструктивных элементов приводов дробильно-сортировочного и горнотранспортного оборудования (к таким элементам относят, например, подшипники, соединительные муфты, зубчатые и ременные передачи и т.д.), должен создаваться свой уникальный единый критерий оценки, учитывающий все особенности диагностирования данного конкретного узла. Большое количество процедур клиппирования (общее число которых совпадает с числом потенциально возможных дефектов), используемое при разработке единых критериев, объясняется широким типовым рядом разрабатываемых критериев, все эти процедуры были апробированы на объектах с неявными максимумами оборотных частот и реализованы на основе принципа поиска в низкочастотной области спектра отдельных гармоник с максимальными амплитудами [8, 12]. Алгоритм создания единого диагностического критерия основывался на использовании набора процедур скаляризации, при помощи которых осуществляется замена множества векторов диагностических признаков на скалярные величины с использованием принципов пошагового распределения объектов на группы, в зависимости от степени развития дефектов энерго-механического оборудования [5, 13].

В рамках проведения цикла исследований по анализу параметров механических колебаний оборудования горных машин была осуществлена классификация существующих ограничений, оказывающих существенное влияние на реализацию диагностических признаков и единых критериев. Значительные затруднения в разработку единых диагностических критериев вносят искажения спектра, вызванные, например, ошибками в выборе места и способа установки датчика, механическими повреждениями разъемов и соединительных кабелей, погрешностями интегрирования в математическом обеспечении виброанализатора и программном обеспечении для анализа, низкой температурой окружающей среды или ее резким перепадом и т.д. Помимо приведенных причин, вызывающих искажение регистрируемых характеристик, существенные ограничения на область применения единых диагностических критериев привносят такие факторы, как низкие рабочие частоты, нестационарные режимы работы агрегатов или значительное превышение расчетных нагрузок [14, 15]. Для решения этих задач в настоящей работе исполь-

зовался алгоритм фильтрации входных данных, позволяющий найти и отсеять в автоматизированном режиме искаженные спектры, а также применялся ряд весовых коэффициентов, используемых для оценки влияния нестационарности рабочих процессов на характер параметров виброакустических волн [8]. В результате выполненных работ разработан единый диагностический критерий для оценки подшипников качения по параметрам вибрации, пригодный для выполнения анализа и осуществления краткосрочного моделирования процессов деградации.

Весь накопленный опыт ведения горных работ свидетельствует о том, что угольная промышленность является объектом повышенной опасности [16]. В сложившихся условиях предприятиям угольной промышленности необходимо отказываться от использования системы планово-предупредительных ремонтов и так называемого «аварийного обслуживания» в пользу современных технологичных систем управления техническим обслуживанием эксплуатируемой горной техники. Важнейшим преимуществом разрабатываемых единых критериев для выполнения оценки и прогнозирования процессов изменения технического состояния сложных механических систем является возможность их использования при создании условий для внедрения на предприятиях угольной и горнорудной промышленности системы обслуживания техники по ее фактическому состоянию. Создаваемые единые критерии могут быть реализованы в рамках решения задачи по выполнению эффективной оценки фактического состояния объектов диагностирования и использоваться в качестве моделируемых параметров при осуществлении прогнозного моделирования процессов деградации фактического состояния технических устройств [5]. Использование системного подхода к обслуживанию оборудования, основанного на широком применении предложенных алгоритмов создания единых диагностических критериев оценки технического состояния в рамках внедрения элементов системы обслуживания оборудования по его фактическому техническому состоянию, позволит снизить количество аварийных простоев техники и существенно повысить безопасность при эксплуатации дробильно-сортировочного, горно-транспортного и углеобогадательного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.
2. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. DOI: 10.1115/1.1379745.
3. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков. Ещеркин П.В., автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово – 2012 год. – 18 с.
4. Bently D.E., Hatch C.T. "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726.
5. Герике П.Б. Автоматизированная система диагностики работы дробильного агрегата /А.Г. Никитин, В.В. Горяшин, П.Б. Герике// Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки, №9. – Москва. – 2017. С. 35-37.
6. S. Delvecchio, G. DElia, E. Mucchi, G. Dalpiaz, Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, *Journal of Vibration and Acoustics*, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10, ISSN: 1048-9002, doi:10.1115/1.4000807
7. Кравченко, В. М. Повреждения подшипников качения в результате износа./В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин.// Горное оборудование и электромеханика. - № 2, 2013. – С. 45-47.
8. Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем. Дисс. ... канд. техн. наук. – М. – МИФИ. – 2007. – 170 с.
9. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
10. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / Ширман А.Р., Соловьев А.Б. / Москва, 1996. – 276 с.
11. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В. Клюева, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.
12. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. / Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1999. – 230 с.
13. Герике П.Б. Влияние коэффициента трения между дробимым материалом и щекой в одновалковой дробилке на энергоёмкость процесса дробления /А.Г. Никитин, Ю.А. Епифанцев, Медведева К.С., Герике П.Б.// Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, том 60, №10. – Москва. – 2017. С. 846-848.
14. Краковский, Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. / Новосибирск: Наука, 2006. – 227 с.
15. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing" *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134(18) – 2012
16. Клишин В.И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. /В.И. Клишин, Л.В. Зворыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко/ Новосибирск, 2011. – 524 с.

REFERENCES

1. Gol'din A. S. Vibratsiya rotornykh mashin [Vibration of rotating machines]. Moscow: Mashi-nostroenie Publishers, 1999. – 344 p. [In Russian]
2. Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis—Their Effectiveness and Flexibilities. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2001. Vol. 123. Pp 303-310. DOI: 10.1115/1.1379745.
3. Eshcherkin P.V. Razrabotka metodiki diagnostirovaniya i prognozirovaniya tekhnicheskogo sos-toyaniya dizel'-gidravlicheskikh burovyykh stankov [Development of a technique of diagnosis and prediction of technical condition of the diesel-hydraulic drilling rigs]: PhD thesis excerpt. Kemerovo. 2012. [In Russian]
4. Bently D.E., Hatch C.T. "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726.
5. Nikitin A.G., Garyashin V.V., Gerike P.B. Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i prak-tiki. 2017. №9. Pp. 35-37. [In Russian]
6. S. Delvecchio, G. DElia, E. Mucchi, G. Dalpiaz, Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, *Journal of Vibration and Acoustics*, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10, ISSN: 1048-9002, doi:10.1115/1.4000807
7. Kravchenko V.M., Sidorov V.A., Butsukin V.V. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2013. #2. Pp. 45-47. (rus)
8. Sushko A. E. Razrabotka spetsial'nogo matematicheskogo i programmnoy obespecheniya dlya avtomatizirovannoy diagnostiki slozhnykh system [Development special mathematical and software for automated diagnosis of complex systems]: PhD thesis excerpt. Moscow. 2007. [In Russian]
9. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
10. Shirman A.R., Solov'ev A.B. Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mek-hanicheskogo oborudovaniya [The practical vibration analysis and monitoring of mechanical equipment] Moscow: Spectrum engineering Publishers, 1996. 276 p.[In Russian]
11. Nerazrushayushchiy kontrol': spravochnik. V 7-kh tomakh [Non-destructive testing: Handbook. In 7 Vol. V.7] / Pod. red. V.V. Klyueva. Moscow: Mashinostroenie Publishers, 2005. 828 p. [In Russian]
12. Luk'yanov A.V. Klassifikator vibrodiagnosticheskikh priznakov defektov rotornykh mashin [The classifier of vibrodiagnostic symptoms of defects rotary machines.]. Irkutsk, 1999. – 230 p. [In Russian]
13. Nikitin A.G., Epifancev Yu.A., Medvedeva K.S., Gerike P.B. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya metallurgiya. 2017. Vol. 60, №10. Pp. 846-848 [In Russian]
14. Krakovskiy, Yu. M. Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyani-ya oborudovaniya [Mathematical and software evaluation of the technical state of equipment]. Novosi-birsk, 2006. – 227 p. [In Russian]

15. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing" *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134(18) – 2012
16. Klishin V.I., Zvorygin L.V., Lebedev A.V., Savchenko A.V. *Problemy bezopasnosti i novye tekhnologii podzemnoy razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy* [Problems of safety and new technology of underground coal mining]. Novosibirsk, 2011. 524 p. [In Russian]



ИЗСТ-01

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫЙ



indsafe.ru
Горный-ЦОТ



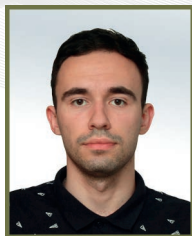
■ Н.И. Сысоев // N.I. Sysoev

д-р техн. наук, проф. кафедры «Горное дело» Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Россия, 346428, ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132



■ Д.А. Гринько // D.A. Grinko

канд. техн. наук, доцент кафедры "Горное дело" Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Россия, 346428, ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132



■ А.А. Гринько// A.A. Grinko

аспирант кафедры «Горное дело» Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Россия, 346428, ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

УДК 622.23.05

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ПРИЛОЖЕНИЯ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ БУРЕНИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКОЛООБРАЗОВАНИЯ

MATHEMATICAL MODELING OF THE ANGLE EFFECT OF THE APPLICATION SHOCK LOAD WHILE DRILLING ROCK ON THE EFFICIENCY OF CHIPPING FORMATION

В статье обоснована возможность повышения эффективности бурения шпуров путем определения наиболее эффективного угла приложения ударной нагрузки при ударно-вращательном бурении. Исследовано напряженно-деформированное состояние породного массива в подрезцовой зоне при имитации бурения. Разработана математическая модель формирования крупных сколов горной породы при разном угле ударной нагрузки на клин. Методом конечно-элементного анализа исследовано влияние угла приложения направленной ударной нагрузки клина, имитирующей работающую часть бурового резца, на объем скола. Установлено влияние угла приложения ударной нагрузки в диапазоне от 30 до 50 градусов на объемы единичного скола, наибольшие значения которого возрастают до 1,5 раза.

The article substantiates the possibility of improving the efficiency of short-hole drilling by determining the most effective angle of application of the shock load during impact-rotation drilling. Investigated the stress-strain state of the rock mass in the under-cut zone when simulating drilling. A mathematical model of the formation of large rock chips at a different angle of shock load on the wedge has been developed. The influence of the angle of application of the directional shock load of the wedge, imitating the working part of the drilling tool, on the chipped volume is investigated by the method of finite element analysis. The influence of the angle effect of the application shock load in the range from 30 to 50 degrees on the volumes of a single chip, the highest values of which increase to 1.5 times, is established.

Ключевые слова: БУРЕНИЕ ШПУРОВ, ПОРОДНЫЙ МАССИВ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, НАПРАВЛЕННАЯ УДАРНАЯ НАГРУЗКА, ОБЪЕМ СКОЛА, СКОРОСТЬ БУРЕНИЯ.

Key words: SHORT-HOLE DRILLING, ROCK MASS, STRESS-STRAIN STATE, DIRECTIONAL SHOCK LOAD, VOLUMES OF A CHIP, PENETRATION RATE.

Введение

1 В связи с постоянно увеличивающимся объемом буровых работ в современных экономических условиях возникает потребность в уменьшении себестоимости проведения горных работ и повышение эффективности функционирования горнопроходческих

комплексов и машин. Наиболее материалозатратным видом горных работ является горнопроходческие работы, составляющие от 30 до 50% от общего объема работ [1,2,3]. При такой доле горнопроходческих работ повышение эффективности бурения может снизить себестоимость горнопроходческих работ и будет иметь эконо-

мических эффект.

2. Обзор и анализ методов математического моделирования

Во второй половине XX века в связи с появлением и широким распространением электро-вычислительных машин и применением их практически во всех отраслях науки и техники возникает новая методология математического моделирования – вычислительный и компьютерный эксперимент [4]. Современные компьютерные эксперименты наряду с новыми информационными технологиями де-факто становятся необходимым инструментом, как в научных познаниях, так и в инженерно-конструкторской деятельности. Так, развитие математического моделирования дало активный толчок в совершенствовании конструкций различных горных машин и оборудования, изучении природы разрушения горных пород и поиску эффективных способов их разрушения.

Одной из основных задач горной промышленности, при решении которой рационально использовать математическое моделирование, является задача дальнейшего исследования природы разрушения горных пород. Моделирование разрушения горных пород является сложным и многофакторным процессом по причине неоднородности структуры горных пород и стохастичном характере её разрушения, реализация которого требует больших вычислительных мощностей.

Для реализации математического моделирования требуются программные комплексы анализа методом конечных элементов. На данный момент времени существует достаточно большое количество программных комплексов (ANSYS, Abaqus/CAE, LS-Dyna и т. д.), с помощью которых возможно моделирование различных статических и переходных динамических процессов.

Разрушение горных пород имеет хрупкий характер разрушения. Для отображения более адекватной картины разрушения горных пород необходимо выбрать наиболее подходящую модель разрушения, по которой будет осуществляться процесс отделение фрагмента горной породы от массива. Для реализации моделирования хрупкого разрушения существуют такие модели разрушения, как Brittle Cracking (Хрупкое разрушение), Holmquist–Johnson–Cook (Холмквист–Джонсон–Кук), Griffiths criterion (критерий Гриффитса) и т. д. Данные модели хрупкого разрушения позволяют моделировать моменты образования скола в горном массиве с последующим образованием в породе трещин.

3. Постановка задачи

Для бурения шпура ударно-вращательным способом к буровому инструменту необходимо прикладывать осевое усилие (P_{oc}) и крутящий момент ($M_{кр}$) (рис. 1), которые создают на режущей кромке инструмента силу подачи P_y и силу резания P_z , достаточные для образования крупных сколов. Очевидно, что сочетание значений количества сколов и частоты ударов теоретически должны совпадать по фазе, то есть сложение векторов сил резания, подачи и ударной нагрузки будет иметь определяющую роль в повышении эффективности разрушения породы режущей кромкой резца. Однако этот процесс стохастичен и не подлежит непосредственному управлению. Вместе с тем, очевидно, что управлением направления вектора P и его величиной, можно обеспечить повышение эффективности сколообразования и, как следствие, увеличение скорости бурения. Кроме наложения на инструмент дополнительных осевых ударных нагрузок $P_{шoy}$, также возможно наложение моментных ударных нагрузок $P_{шкм}$, что позволяет не только повысить величину силы P , но и обеспечить целенаправленное воздействие ее на разрушаемую породу.

Добавление дополнительного ударного нагружения на буровой инструмент, в виде ($P_{шкм}$) и ($P_{шoy}$), повлечет за собой усложнение конструк-

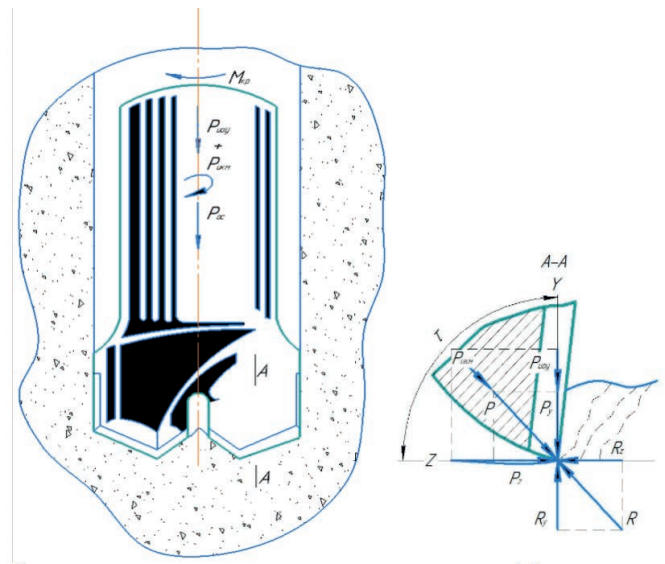


Рисунок 1 - Схема действующих сил при наложении нагрузок: P_y – осевое усилие; P_z – усилие резания; P – равнодействующая на инструменте; $P_{шoy}$ – осевая ударная нагрузка; $P_{шкм}$ – моментная ударная нагрузка; R_y – сопротивление породы внедрению; R_z – сопротивление породы резанию; R – равнодействующая породы; τ – возможная область изменения направления равнодействующей P

Figure 1 - Diagram of the existing forces when applying loads: P_y - axial force; P_z - cutting force; P - resultant on the instrument; $P_{шoy}$ - axial shock load; $P_{шкм}$ - moment impact load; R_y is rock resistance to penetration; R_z - rock cutting resistance; R - resultant rocks; τ is the possible range of changes in direction of the resultant P

ции бурильной машины и усложнение алгоритма управления режимными параметрами бурения и, как следствие, повышение стоимости бурильной машины, но, в итоге, повысит эффективность разрушения горной породы на забое. Для повышения эффективности бурения предлагается дополнительно воздействовать на буровой резец ударными нагрузками в виде $(P_{икм})$ и $(P_{шог})$, которые, в свою очередь, по системе передачи силового воздействия на буровой инструмент подразделяются с принудительной или свободной подачей. В связи с этим возникает необходимость методом численного моделирования исследовать напряженно-деформированное состояние породного массива в подрезцовоной зоне, вызываемого ударным воздействием на буровой инструмент, а также исследовать оптимальный угол приложения ударных нагрузок t

4. Теоретическая часть

Для проведения математического моделирования использовался программный комплекс для анализа методом конечных элементов Abaqus/CAE. В качестве модели разрушения горной породы была выбрана модель Holmquist–Johnson–Cook, используемая для моделирования механического повреждения хрупких материалов (керамика, камни и бетон) в диапазоне скоростей деформации. Модель применяется для плоских деформационных, осесимметричных и трехмерных твердых элементов и может использоваться как в лагранжевой, так и в эйлеровой областях. Модель HJC состоит из трех основных компонентов: (1) представление девиаторной прочности неповрежденного и разрушенного материала в виде зависящей от давления поверхности текучести, (2) модель повреждения, которая переносит материал из неповрежденного состояния к разрушенному состоянию и (3) уравнение состояния (EOS) для отношения давления и плотности, которое включает в себя эффекты уплотнения.

Модель предполагает, что нормированная прочность материала σ^* может быть выражена функцией давления и скорости деформации [5,6,7]:

$$\sigma^* = (A(1 - D) + BP^{*N})(1 + C \ln \epsilon^*) \leq \sigma^{max} \quad (1)$$

Нормализованная прочность материала определяется как $\sigma^* = \sigma / f_c$, где (σ^*) эквивалент фон Мизеса и напряжение (f_c) одноосной прочности на сжатие при квазистатическом нагружении. В приведенном выше выражении

$(A, B, N$ и $C)$ материальные постоянные, (D) переменная повреждения, $(P^* = P / f_c)$ нормализованное давление и $(\epsilon^* = \epsilon^{pl} / \epsilon_0)$ безразмерная ско-

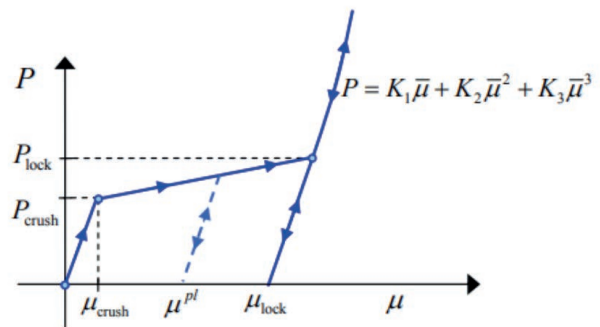


Рисунок 2 – Реакции давления и объема для корректной модели HJC

Figure 2 - Pressure and volume reactions for the correct HJC model

рость деформации, где (ϵ^{pl}) эквивалентная скорость пластической деформации и (ϵ_0) эталонная (пороговая) скорость деформации. Предполагается, что пластическое течение является изохорным (процесс с постоянным объемом) с использованием поверхности потока Мизеса. Эволюция тензора пластической деформации задается как $\epsilon^{pl} = \epsilon n$, где (n) нормаль к поверхности потока Мизеса.

Переменная повреждения D накапливается как с эквивалентной пластической деформацией, так и с объемным пластическим напряжением в соответствии с уравнением [5,6,7]:

$$D = \sum \Delta \epsilon^{pl} + \Delta \mu^{pl} / \epsilon_f^{pl}(P^*), \quad (2)$$

где $\epsilon^{pl} = D_1(P^* + T^*)^{D_2}$ и $\epsilon_{f,min}^{pl} \leq \epsilon_f^{pl} \leq \epsilon_{f,max}^{pl}$.

Здесь $(\Delta \epsilon^{pl})$ приращение эквивалентной пластической деформации, $(\Delta \mu^{pl})$ приращение объемного уплотнения деформация, $(\epsilon_f^{pl}(P^*))$ эквивалентная пластическая деформация разрушения при постоянном давлении, $(T^* = T / f_c)$ нормированное максимальное растягивающее гидростатическое напряжение, а $(D_1$ и $D_2)$ материальные постоянные. Дополнительные параметры $(\epsilon_{f,min}^{pl}$ и $\epsilon_{f,max}^{pl})$ и предоставляются для дополнительной гибкости, чтобы ограничить минимальные и максимальные значения деформации разрушения.

Реакция давления и объема модели схематично показана на рисунке 2.

Давление дано как функция измерения объемной деформации $\mu = \frac{\rho_0}{\rho} - 1$, где (ρ_0) плотность потока, а (ρ) контрольная плотность. При сжатии ответ делится на три области. В первой области давление линейно возрастает (μ) от нуля до (P_{crush}) начала дробления (уплотнения), когда $\mu = \mu_{crush}$. Вторая область связана с дроблением материала. В этой области материал накапливает пластическую объемную деформацию (μ_{pi}) пока воздушные пустоты полностью сжаты, что соответствует (μ_{lock}, P_{lock}) . За этой точкой в третьей области материал

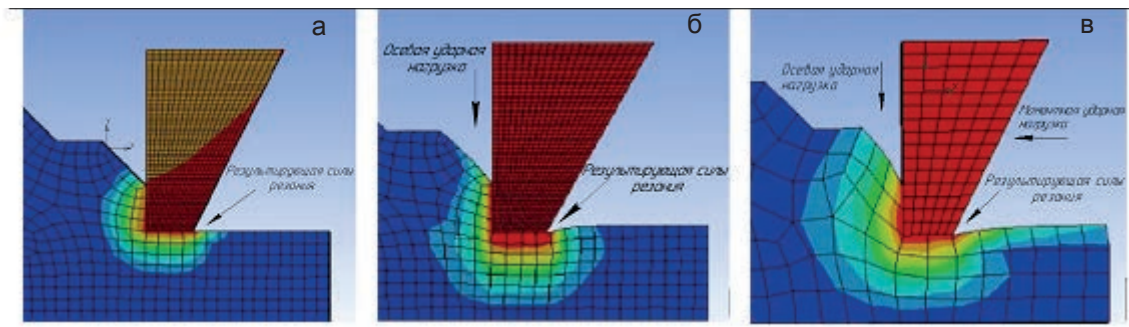


Рисунок 3 - Напряженно-деформированное состояние породного массива при имитации бурения во вращательном режиме (а), при дополнительном воздействии осевых нагрузок (в), с комбинированным воздействием осевых и моментных нагрузок (в) на клин

Figure 3 - Stress-strain state of the rock mass at imitation of drilling in the rotational mode (a), with the additional effect of axial loads (в), with the combined effect of axial and moment loads (в) on the wedge

считается полностью плотным (все воздушные пустоты удалены), а давление P определяется нелинейными упругими уравнениями [5,6,7]:

$$P = K_1\mu + K_2\mu^2 + K_3\mu^3 \text{ и } \mu = \mu - \frac{\mu_{lock}}{1 + \mu_{lock}}, \quad (3)$$

где K_1, K_2, K_3 - константы материала.

5. Результаты математического моделирования

Исследование напряженно-деформированного состояния породного массива в подрезочной зоне при имитации бурения с направленной ударной нагрузкой на клин, имитирующий рабочую часть бурового резца, проводилось методом конечно-элементного анализа.

В результате моделирования участка режущей кромки клина, шириной 1 мм, в режиме бурения с ударным нагружением на породе с модулем Юнга $E = 1 \cdot 10^9$ Па и коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$ была получена картина напряженно-деформированного состояния породы в подрезочной зоне, представленная на рис. 3. Из рисунка 3.а видно, что при имитации вращательного режима бурения перед передней гранью клина и под режущей кромкой возникают примерно одинаковые поля напряжений и деформаций. При дополнительном воздействии на клин осевых ударных нагрузок, инструмент дополнительно внедряется в породу, чем обеспечивается объемное разрушение породы, хотя и с повышенными удельными затратами энергии [8]. Об этом косвенно свидетельствует картина напряженно-деформированного состояния породного массива, изображенная на рисунке 3.б. В случае, когда при имитации вращательного бурения на клин воздействуют осевыми и моментными нагрузками в породном массиве возникают дополнительные напряжения сдвига, что обеспечивает менее энергоемкий процесс разрушения, снижает силы трения между породой и клином

[9] и, следовательно, обеспечивает более высокую скорость бурения.

Как видно из рисунка 3.в, при имитации ударно-вращательного способа бурения с направленным приложением ударной нагрузки воздействие на забой имеет место большее значение деформаций породы перед передней гранью, по сравнению с вращательным способом. Это дает основание считать целесообразным необходимость проведения углубленных исследований в этом направлении и разработки соответствующих технических средств. Данное комбинированное силовое воздействие на буровой инструмент позволит передать большее количество энергии в виде деформаций в породу и осуществить более крупный скол.

Для определения методом численного моделирования наиболее эффективного угла приложения ударной нагрузки к клину и дальнейшего формирования скола использовалась модель разрушения Holmquist–Johnson–Cook. В результате моделирования участка режущей кромки клина, скорость которого составляет 0.778 м/с, имитирующей рабочую часть бурового резца, ширина которого составляет 0.5 мм, а толщина срезаемой стружки 2 мм, в режиме ударной нагрузки была получена качественная картина формирования крупного скола, представленная на рис. 4.

Из рисунка 4.а видно, что при приложении к клину ударной нагрузки в 30 градусов к плоскости резания образуется скол объемом 245,57 мм³. Как видно из рисунка 4.б, что при направлении ударной нагрузки под углом 45 градусов к вертикальной оси скол будет иметь объем 263,85 мм³. При увеличении угла приложения ударной нагрузки до 55 градусов, представленной на рис.4.в, объем скола также увеличится, и будет составлять 183,6 мм³, при 90 градусах приложения ударной нагрузки – 136,4 мм³, рис. 4.г.

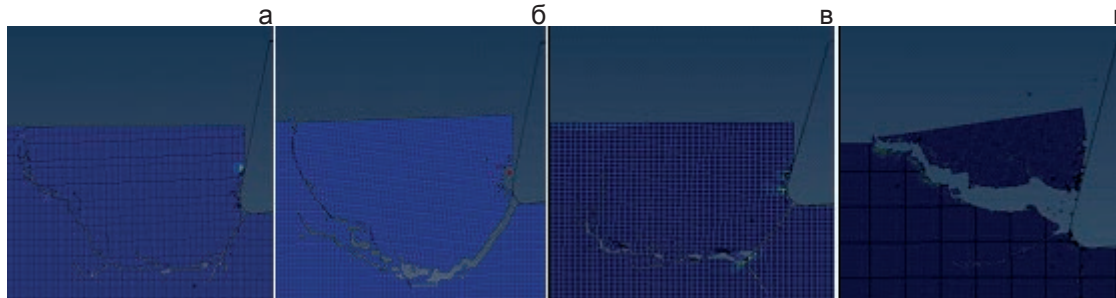


Рисунок 4 – Формирование крупного скола при ударно-вращательном бурении с направленной нагрузкой 30 градусов (а), 45 градусов (б), 55 градусов (в), 90 градусов (г)

Figure 4 – The formation of a large chip during impact-rotary drilling with a directional load of 30 degrees (a), 45 degrees (b), 55 degrees (c), 90 degrees (g)



Рисунок 5 - График зависимости объема скола от угла приложения ударной нагрузки
Рисунок 5 - График зависимости объема скола от угла приложения ударной нагрузки

Проведенные эксперименты свидетельствуют о целесообразности изменения направления приложения ударной нагрузки к инструменту для увеличения объема скола.

На рисунке 5 представлен график зависимости объема скола от угла приложения ударной нагрузки к клину, имитирующей рабочую поверхность бурового резца. Из графика видно, что увеличение угла приложения ударной нагрузки к клину будет положительно влиять на объем скола. В сравнении с обычным вращательно-ударным бурением (приложение ударной нагрузки 0 градусов) объем скола при приложении ударной нагрузки под углом 45 градусов к вертикали увеличится примерно на 40 %. Данные эксперименты носят скорее оценочный характер и направлены на выявление целесообразности воздействия на буровой инструмент направленной ударной нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыхин П.А. Тоннелестроение и бурение шпуров и скважин в XIX и XX вв, Российская академия наук, Уральское отделение, Горный ин-т, 2002. – 226 с.
2. Линник Ю.Н. Перспективы развития очистного, проходческого, бурового и транспортного оборудования на период до 2020 г. в кн.: Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности. 7 Междунар. научно-практич. конф.- Кемерово, 2005, с. 20-27.
3. Хазанович Г.Ш., Ленченко В.В. Буровзрывные проходческие системы: Учеб. пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. 504 с.
4. Коржов Е.Н. Математическое моделирование: учебное пособие. - Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2012. – 74 с.
5. Johnson G. R., Cook W. N. A constitutive model and data for metals subjected to large strains. High rates and high temperatures // Proc. of the 7th Intern. symp. on ballistics, Hague (Netherlands), 19–21 Apr. 1983. Hague: Roy. Inst. of Engns in the Netherlands, 1983. P. 541–547.

6. Выводы

1. Исследования методом конечно-элементного анализа формирования крупных сколов горной породы при разных углах приложения ударной нагрузки на забой через клин, имитирующий работающую часть бурового резца, показали наличие существенного влияния угла в диапазоне от 30 до 50 градусов на объемы единичного скола, наибольшие значения которого возрастают до 1,5 раза.

2. Применительно к ударно-вращательному бурению пород повышенной крепости определённые моделированием значения углов приложения ударной нагрузки на забой обеспечит образование более крупных сколов, а следовательно, и повышение скорости бурения.

6. Johnson G. R., Cook W. H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures, and pressures // *EngngFract. Mech.* 1985. V. 21, N 1. P. 31–48.
7. Hallquist J. O. LS-DYNA: Theoretical manual. Livermore: Livermore Software Technol. Corp., 1998.
8. Chernysheva, N. Platovskikh, M. Yungmeister, D. Study of the Effectiveness of the Vibro-impact System "piston-striker-shank" in the Construction of Pneumatic and Hydraulic Hammers for the Subway Driving Complexes. *Procedia Engineering* 165.2016. с. 1254-1260.
9. Ляпин Д.Г. Обоснование рациональных параметров инерционного генератора колебаний движущего момента рабочего органа компактного роторного экскаватора. Дис. канд. техн. наук.- Москва: НИТУ «МИСиС», 2018.-123с.

REFERENCES

1. Lyhin, P.A. (2002). *Tunneling and drilling of holes and wells in the nineteenth and twentieth centuries*. Ekaterinburg: , Russian Academy of Sciences, Ural Branch, Gorny Institute. [In Russian]
2. Linnik, Yu.A. (2005). *Perspektivy razvitiya ochistnogo, prokhodcheskogo, burovogo i transportnogo oborudovaniya na period do 2020 g. [Prospects for the development of cleaning, tunneling, drilling and transport equipment for the period up to 2020]*. Kemerovo: Energy Security of Russia: New Approaches to the Development of the Coal Industry. 7 Intern. scientific and practical conference, 20-27. [In Russian]
3. Hazanovich, G. Sh., & Lenchenko, V.V. (2000). *Burovzryvnyye prokhodcheskiye sistemy: Ucheb. posobiye [Drilling and blasting tunneling systems: Tutorial]*. Novocherkassk: YURGTU. [In Russian]
4. Korjov, Ye. N. (2012). *Matematicheskoye modelirovaniye: uchebnoye posobiye [Mathematical Modeling: Tutorial]*. Voronezh: IPTS VGU. [In Russian]
5. Johnson, G. R., & Cook, W. N. (1983). A constitutive model and data for metals subjected to large strains. High rates and high temperatures. *Proc. of the 7th Intern. symp. on ballistics, Hague (Netherlands)*, 19–21 Apr. 1983. Hague: Roy. Inst. of Engrs in the Netherlands, 541–547.
6. Johnson, G. R., & Cook, W. H. (1985). Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures, and pressures. *EngngFract. Mech.*, 21, (1), 31–48.
7. Hallquist J. O. (1998). LS-DYNA: Theoretical manual. Livermore: Livermore Software Technol. Corp.
8. Chernysheva, N. Platovskikh, M., & Yungmeister, D. (2016). Study of the Effectiveness of the Vibro-impact System "piston-striker-shank" in the Construction of Pneumatic and Hydraulic Hammers for the Subway Driving Complexes. *Procedia Engineering* 165,1254-1260. [In Russian]
9. Lyapin, D.G. (2018). *Obosnovaniye ratsional'nykh parametrov inertsiionnogo generatora kolebaniy dvizhushchego momenta rabocheho organa kompaktного rotornogo ekskavatora. Dis. kand. tekhn. nauk [Substantiation of the rational parameters of the inertial oscillator of the driving moment of the working body of a compact rotor excavator. Thesis Cand. tech. of science]*.Moskva: NITU «MISIS» [In Russian]



Горный-ЦОТ

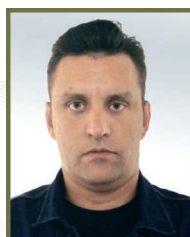
ПКА-01

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА



В.В. Шарманов // V.V. Sharmanov

инженер комплексного контроля строительства
ООО «Научно – технический центр «Эталон», («НТЦ «Эталон»), Россия, 197348, г. Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 2А
construction complex control engineer, ООО “Scientific-Technival Center “Etalon”, (ScTC “Etalon”)



А.Е. Мамаев // A.Ye. Mamaev

инженер комплексного контроля строительства
ООО «Научно – технический центр «Эталон», («НТЦ «Эталон»), Россия, 197348, г. Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 2А
construction complex control engineer, ООО “Scientific-Technival Center “Etalon”, (ScTC “Etalon”)



Т.Л. Симанкина // T.L. Simankina

канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
candidate of technical sciences, Associate Professor Sankt-Petersburg Peter the Great Polytechnic University



М.А. Романович // M.A. Romanovich

канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
candidate of technical sciences, Associate Professor Sankt-Petersburg Peter the Great Polytechnic University

УДК 69.002.5:004.045

МЕТОДИКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ БАШЕННОГО КРАНА НА ОСНОВЕ BIM ТЕХНОЛОГИИ

TOWER CRANE TECHNICAL EXAMINATION METHODS BASED ON BIM TECHNOLOGY

Актуальность работы связана с безопасностью и недопущением аварийных ситуаций при эксплуатации башенного крана во время его работы. При эксплуатации башенного крана могут возникать повреждения или нарушения работоспособности его элементов вследствие перегрузок, напряженного состояния металла, появления трещин в сварных швах и элементах, погнутости и вмятины конструкций, ослабление стыковых соединений, коррозии. Все это может возникнуть вследствие неправильной эксплуатации как на этапе монтажа, демонтажа крана, так и на этапе эксплуатации. Своевременная диагностика состояния конструкций башенного крана позволяет обнаружить дефекты на ранних стадиях и тем самым исключить развитие рисков ситуаций, связанных с отказом их работоспособного состояния, что позволит своевременно провести ремонтные работы. Методика контроля крана на основе информационных технологий является эффективным инструментом для исключения риска.

The relevance of the work is related to the safety and emergency situations prevention during the tower crane operation. When operating a tower crane, damage or malfunction of its elements may occur due to overloads, metal stress state, cracks in welds and elements, curvature and dents of structures, weakening of butt joints, corrosion. All this can occur as a result of improper operation, both at the stage of installation, dismantling of the crane and at the stage of operation. The tower crane structures state timely diagnosis allows to detect defects at the early stages, and thus to eliminate the risk situations development associated with their working condition failure that will also allow to conduct the repair work on time. The crane control methods on the basis of information technologies is an effective tool for risk elimination.

Ключевые слова: BIM-ТЕХНОЛОГИИ, 3D-МОДЕЛЬ, СТРОИТЕЛЬСТВО, БАШЕННЫЙ КРАН, АВАРИЙНОСТЬ, КОНТРОЛЬ РИСКОВ, ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА.

Key words: BIM TECHNOLOGY, 3D-MODEL, CONSTRUCTION, TOWER CRANE, ACCIDENT RATE, RISK CONTROL, TECHNICAL EXAMINATION

Введение
Сегодня строительная отрасль является той экономической деятельностью государства, которая формирует порядка 6-7% валового продукта России. Её развитие формирует развитие общества и его про-

изводственных сил. Строительная отрасль является драйвером развития передовых технологий как в производственной сфере, так и в смежных областях, как-то: развитие социальной сферы, модернизация или совершенствование производственных процессов. [1] Внедрение новых

технологий или производственных процессов, несомненно, облегчает трудоемкость трудовых процессов, однако при этом требует от рабочих новых знаний и постоянного совершенствования своих навыков. Сегодня невозможно представить строительную отрасль без применения грузоподъемных механизмов, разнообразие которых впечатляет. [2] Одними из таких устройств являются башенные краны. Таким образом, человек и человеческий фактор являются определяющими для обеспечения безопасной работы и эксплуатации грузоподъемных механизмов.

Цель и задачи

Цель работы – описание методики обследования башенного крана на основе BIM-технологии, с помощью специализированных программ с целью снижения риска, связанного с отказом его работоспособности.

Обзор

Следует отметить, что на сегодняшний день нет оптимальных методик, позволяющих на этапе эксплуатации оборудования оценить вероятность наступления рисков ситуаций, вызванных отказом оборудования или дефектом металлоконструкций, в связи с чем возрастает актуальность контроля безопасной эксплуатации подъемных сооружений на опасных производственных объектах. Для решения данной

задачи предлагается способ оценки на основе экспертного метода с использованием современных информационных систем.

Обращаясь к статистике по аварийности грузоподъемных сооружений, можно сказать что 40% таких аварийных сооружений занимают башенные краны. [3]

Основными причинами возникновения неисправностей, приводящих к аварийным ситуациям при эксплуатации башенных кранов являются:

- перегруз, поднятие груза больше нормативной грузоподъемности;
- наличие мелких дефектов, которые не были обнаружены при вводе крана в эксплуатацию;
- износ механизмов и агрегатов выше допустимого, которые используются на рабочем кране;
- некачественные ремонтные работы перед пуском крана в эксплуатацию;
- отсутствие должного контроля во время эксплуатации; [4-7]
- отсутствие квалифицированного персонала, допущенного к эксплуатации башенного крана.

На рисунке 1 можно видеть, что башенные краны занимают лидирующее положение

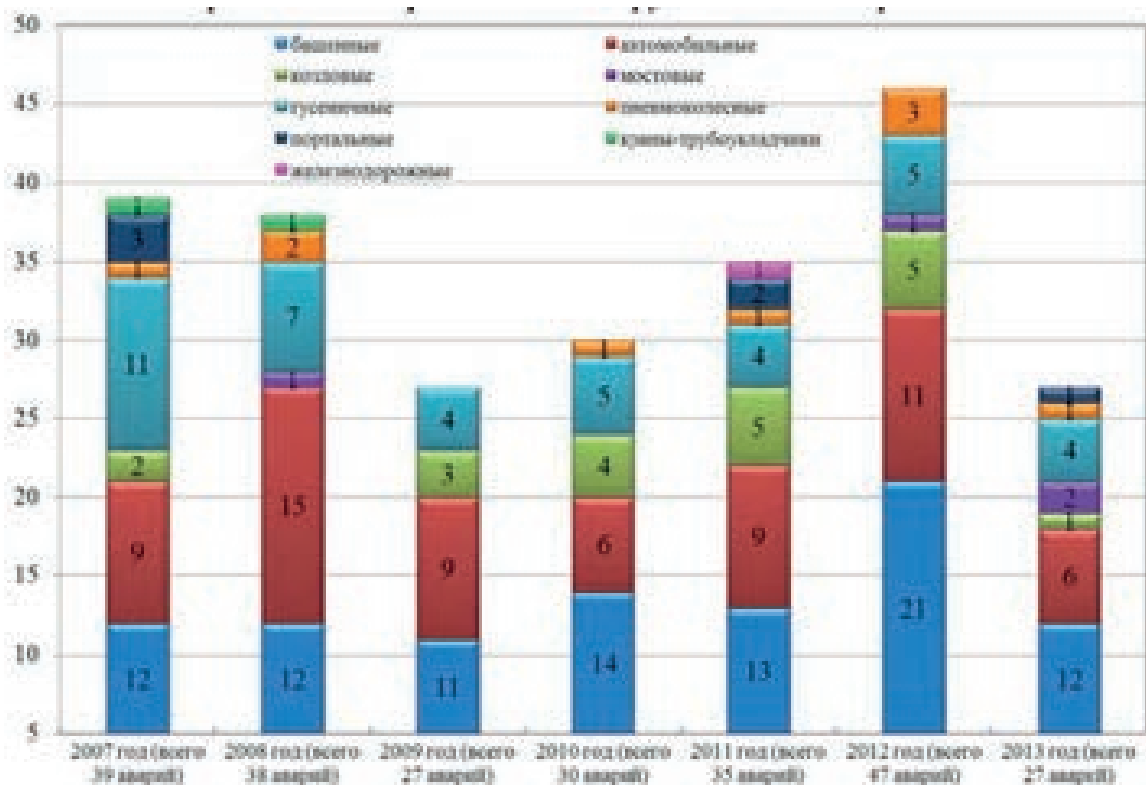


Рисунок 1. Статистика по аварийности грузоподъемных сооружений
Figure 1. Statistics on the accident rate of load-lifting structures

по аварийности, что говорит о пренебрежении руководителями эксплуатирующих организаций правилами промышленной безопасности и требованиями норм и инструкций по безопасной эксплуатации башенных кранов.

Рассмотрим некоторые примеры несчастных случаев.

1. В г. Самара 24.10.2018г. произошло падение башенного крана, жертвой случившегося стал крановщик. Инцидент случился возле дома 295 по улице Карла Маркса, недалеко от строящегося ЖК «Радуга». Причиной ЧП стало то, что в пяти метрах от основания лопнула металлическая балка крана, в результате чего вся конструкция рухнула.

2. В г. Санкт-Петербург 24.09.2018 на территории строительной площадке ЖК «Ренессанс», расположенной в Невском районе Санкт-Петербурга, с крепежа строительного крана сорвался подъемный крюк, который упал на рабочего. От полученных травм мужчина скончался.

3. В г. Омск 17.05.2018 года в микрорайоне "Старгород" упал башенный кран. Крановщик упал с 10 метров, получив черепно-мозговую травму, травму грудной клетки, повреждения внутренних органов. Врачи борются за его жизнь. Предварительные данные о причине аварии: у крана был перегруз, он просто не выдержал напряжения и сильно накренился.

4. В г. Киров 19.01.2018 года упал башенный кран, проломил крышу двухэтажного дома и две квартиры, один человек погиб. По версии следствия, причиной падения крана стала неправильная запасовка грузового каната, в результате которой при эксплуатации произошло трение о стреловой расчал, что привело к последующему разрыву каната. При этом неправильная запасовка грузового каната была осуществлена при его монтаже непосредственно на строительной площадке до проведения экспертизы промышленной безопасности. Таким образом, эксперт мог и должен был выявить данные существенные нарушения.

Такая статистика говорит о том, что вопросы безопасной эксплуатации башенных кранов заслуживают повышенного контроля, а из приведенных примеров видно, что человеческий фактор в большей степени явился тем спусковым крючком, который привел к трагическим событиям.

Основная часть

В основе предложенной методики лежит принцип, согласно которому предлагается рассматривать башенный кран как замкнутую систему (механизм), для правильной эксплуатации

которого необходимо своевременно (систематически) регистрировать возникающие отклонения в ходе эксплуатации. Рассматривая стационарный башенный кран, можно выделить следующие его конструктивные части, блоки:

1. Опорная часть.
2. Башни, состоящие из отдельных секций.
3. Опорно-поворотное устройство с кабиной машиниста.
4. Оголовок башни с расчалами.
5. Консоль противовеса.
6. Стрела с грузовой тележкой.
7. Система крепления к зданию (пристезжка).
8. Приборы безопасности и электрическая часть.

Для башенных кранов на рельсовом ходу можно добавить следующие конструктивные части:

9. Нижнее рельсовое строение;
10. Верхнее рельсовое строение.

Таким образом, башенный кран — это система, которая состоит из блоков, называемых конструктивными частями. [8,9] При этом каждый блок состоит из набора определённых параметров, которые необходимо контролировать в процессе эксплуатации, а именно:

1. Опорная часть: фундамент, опорная рама;
2. Башни, состоящей из отдельных секций: секции башни рядовые;
3. Опорно-поворотное устройство с кабиной машиниста: механизм поворота (тормоз, редуктор, эл.двигатель);
4. Оголовок башни с расчалами;
5. Консоль противовеса: механизм подъема (тормоз, редуктор, эл.двигатель), блоки противовеса;
6. Стрела с грузовой тележкой: механизм передвижения грузовой тележки (тормоз, редуктор, эл.двигатель), крюковая подвеса с гаком;
7. Система крепления к зданию (пристезжка): узлы крепления пристёжек к конструкции здания;
8. Приборы безопасности и электрическая часть: анемометр, ОГП, ОГМ, ограничитель высоты;
9. Нижнее рельсовое строение: земляное полотно;
10. Верхнее рельсовое полотно: рельсы, балластная призма, путевое оборудование.

Анализируя факторы, приводящие к падению башенных кранов, можно выделить следующие:

1. Нарушения техники безопасности при

эксплуатации башенных кранов.

К данной позиции можно отнести низкий уровень производственной дисциплины, нехватку квалифицированных кадров, плохое знание нормативной документации в области промышленной безопасности, а также низкую подготовку и переподготовку специалистов, что связано с человеческим фактором. При этом эксперты считают, что причиной порядка 90% аварий является именно человеческий фактор.

2. Износ конструкций башенных кранов.

На сегодняшний день износ парка башенных кранов по России составляет порядка 80%. При этом основные потребители новых башенных кранов сосредоточены в крупных городах России, в регионах зачастую используют старую технику времён Советского Союза [10]. Старый кран – это усталость «металла», негодные канаты, неисправная автоматика обеспечения безопасности.

В парке башенных кранов в РФ (рисунок 2) самая низкая доля импортных машин по состоянию на 2017 год составляет 24,3%. При этом почти половина кранов (46,2%) отработали свой ресурс. Выпуск башенных кранов в 2016 году находился на исторически низком уровне конца 90-х-начала 2000-х г.г. – всего 34 крана. В 1999 году был выпущен 31 кран, в 2000 году – 32, в 2001 году – 33, в 2002 году – 36 кранов. [11]

3. Дефекты конструкций (трещины) кото-

рые могут возникать при демонтаже и монтаже башенного крана на новом месте (перебазировка)

При погрузке и разгрузке элементов башенного крана, элементы могут испытывать нагрузки, не предусмотренные паспортными данными, что в свою очередь может вызвать микротрещины в местах сварочных швов и повлечь за собой развитие полноценных трещин в процессе эксплуатации и обрушение конструкции. [12,13] Также возможен некачественный монтаж башенного крана, где на работы по его возведению привлекаются неквалифицированные специалисты.

4. Финансовое положение предприятия

Отсутствие денежных средств или их недостаточное количество на эксплуатацию башенных кранов, а также повышение квалификации обслуживающего персонала.

5. Недостаточность контрольных функций на объекте, где эксплуатируется башенный кран

Зачастую башенный кран передается в аренду, где функции по его безопасной эксплуатации переключаются и на арендатора. В свою очередь арендодатель занимается вопросами безопасной эксплуатации в виде внеплановых проверок переданного башенного крана, но зачастую он физически не в состоянии объехать и посмотреть все объекты, где эксплуатируются подведомственные ему башенные краны. . Вопрос безопасности, в свою очередь, помимо

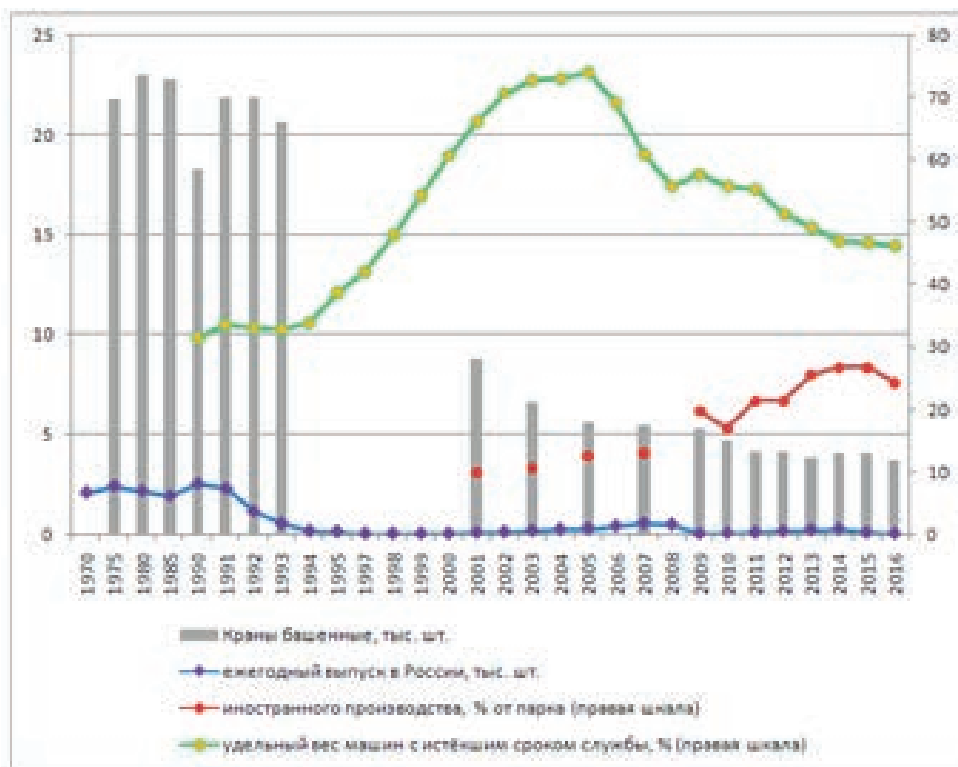


Рисунок 2. Статистика по парке башенным кранам в РФ
Figure 2. Statistics of the park tower cranes in the Russian Federation

исправного башенного крана, включает ещё и квалифицированный персонал, который будет обслуживать его на время аренды, включающий электриков, механиков, стропальщиков.

Выше перечисленное доказывает необходимость оперативного и систематического контроля за безопасной эксплуатацией башенных кранов. Для решения данной задачи предлагается методика с использованием BIM-технологии на базе программного продукта компании Autodesk. Согласно исследованиям [16-18], BIM-технология является универсальным инструментом, который может быть применен в данной области [21].

Алгоритм реализации методики состоит в следующем.

На первом шаге предлагается в программе Autodesk Revit создать модель будущего башенного крана, при этом детализация элементов конструкций башенного крана прорабатывается на уровне узлов или секций башни, стрелы. Дальнейшая детализация до уровня отдельных

элементов (раскосы, подкосы, пояса) будет ускорять работу в программе и потребует более мощные цифровые носители.

На втором шаге разрабатывается программа-плагин, в которой имеется возможность занести алгоритм учета наработки узлов и механизмов в мото-часах. В программу интегрируется график технического ремонта и обслуживания башенных кранов. Далее плагин интегрируется с BIM-платформой и синхронизируется с моделью башенного крана. Таким образом, каждый узел, секция или механизм обладает необходимыми параметрами, которые предстоит контролировать на протяжении всего периода эксплуатации на объекте.

Третьим шагом становится занесение данных о результатах осмотра конструктивных элементов башенного крана. Инспектор, при проверке башенного крана, сканирует QR код каждого проверяемого узла, блока и далее заносит данные о техническом состоянии отдельных параметров, входящих в проверяемый узел,

Таблица 1 - Виды и характеристики дефектов
Table 1 - Types and characteristics of defects

Вид дефекта	Характеристика дефектов		
	Дефекты изготовления или монтажа	Дефекты, возникающие из-за грубого нарушения норм. эксплуатации	Дефекты, возникающие при нормальной эксплуатации
1. Нарушение лакокрасочного покрытия	0,5		
2. Коррозия ответственных элементов до 5% толщины элемента вкл. до 10% толщины элемента вкл. Свыше 10% толщины элемента.	0,2 1 10		
3. Трещины, разрывы в швах или в <u>околошовной</u> зоне	1	1	4
4. Трещины, разрывы в <u>зонах удаленных от сварных швов</u>	1	1	5
5. <u>Ослабление болтовых соединений</u> в которых болты работают на растяжение (а также износ резьбы винтовых опор)	0,5	0,5	1
6. Ослабление болтовых соединений в которых болты работают на срез	2		
7. Деформации элементов решетчатых конструкций, превышающие предельные значения: 7.1. Пояса 7.2. Элементы решетки	1 0,5	2,5 1	5 2
8. Деформации элементов листовых конструкций, превышающие предельные значения	1	1,5	5
9. Расслоение металла	5		
10. <u>Смятие проушин</u> и выработка отверстий в шарнирах, превышающие предельные значения	1	1,5	3
11. Любые дефекты, возникшие в месте предыдущего ремонта	1	2	5

Таблица 2 - Определение характеристики дефектов башенных кранов
Table 2 - Characterization of defects of tower cranes

Вид дефекта	Характеристика дефектов	
	Дефекты изготовления или монтажа	Дефекты, возникающие при нормальной эксплуатации
Нарушение лакокрасочного покрытия		0,5
Коррозия ответственных элементов до 5% толщины элемента вкл. до 10% толщины элемента вкл. Свыше 10% толщины элемента.		0,2 1 10
Трещины, разрывы в швах или в околошовной зоне	1	4
Трещины, разрывы в зонах удаленных от сварных швов	1	5
Ослабление болтовых соединений в которых болты работают на растяжение (а также износ резьбы винтовых опор)	0,5	1
Ослабление болтовых соединений в которых болты работают на срез		2
Деформации элементов решетчатых конструкций, превышающие предельные значения:		
- Пояса	1	5
- Элементы решетки	0,5	2
Деформации элементов листовых конструкций, превышающие предельные значения	1	5
Расслоение металла		5
Смятие проушин и выработка отверстий в шарнирах, превышающие предельные значения	1	3
Любые дефекты, возникшие в месте предыдущего ремонта	1	5
Дефекты канатно-блочных механизмов и др. механизмов - трещины, сколы, износ по ручью реборд блоков - Износ зубчатых зацеплений - Выработка (износ) шарнирных соединений		0,5 1 1,5
Трещины и сколы оголяющие арматуру фундаментов Осадка (просадка, крен) фундаментов Смятие, трещины анкерных болтов (шпилек), ослабление болтовых соединений		0,5 2 1,5
Нижнее рельсовое строение (земляное полотно) не отвечает нормативным требованиям.		1
Дефекты верхнего рельсового строения: - дефекты рельсового пути (рельсы, подушпады) - дефекты балластной призмы - дефекты путевого оборудования (тупики, заземление и т.п.)		1,5 1 2
Способ устранения дефектов: - ремонт - замена		1 0,5

блок. Проверка инспектором осуществляется инструментально и визуально. При этом к каждому блоку применимы определенные критерии, соблюдение которых удовлетворяло бы общему состоянию безопасной эксплуатации башенного крана.

Данные параметры, входящие в тот или иной блок, проверяются инспектором согласно нормативным требованиям. При этом инспектор имеет возможность произвести фотофиксацию выявленных нарушений; полученной фотографии автоматически присваивается тот же код, что и QR код проверяемого узла, блока.

Для оценки параметров, за основу принимаются нормативные документы [19,20], в которых имеются таблицы, включающие бальную оценку дефектов (таблица 1).

Из представленной таблицы 1 исключается столбец «Дефекты, возникающие из-за грубого нарушения норм эксплуатации», и включаются столбцы, содержащие новые виды дефектов, которые будут отражать физическое состояние представленных блоков, а именно дефекты, которые могут повлиять на правильную эксплуатацию фундаментов, канатно-блочных систем, канатов, а для рельсовых кранов – это земляное полотно под рельсовым путем и дефекты

рельсового пути, балластной призмы и дефекты путевого оборудования. Также в таблицу добавляется строка с указанием способа возможного устранения того или иного дефекта. При этом дефектам присваиваются баллы. Результаты изменений представлены в таблице 2.

Кран разбит на отдельные узлы (механизмы, блоки) (рисунок 3), при этом все узлы (механизмы, блоки) активны и при выборе того или иного элемента (блока, узла) активируется та часть таблицы 2, к которой привязан этот элемент (блок, узел). В итоге получается, что инспектор производит обследование всего башенного крана и заносит данные не только о выявленных дефектах, но и об их отсутствии. Оценка фактического состояния проверяемого элемента (блока, узла) отмечается как «Правильно» или «Неправильно». При этом, если будут обнаружены дефектные элементы, инспектор имеет возможность определить характеристику дефектов согласно таблицы 2.

Для того чтобы объективно оценить правильность эксплуатации башенного крана, необходимо выставлять обе отметки.

На рисунке 4 можно видеть, что была выбрана конструктивная часть башенного крана «Стрела», плагин который обрабатывая данные,

понимает, что выбран именно этот элемент башенного крана и выдает список именно тех дефектов, которые характерны для данного конструктивного элемента.

Таким образом, инспектор отмечает не только отрицательные пункты, но и положительные, тем самым подтверждая, что данный узел (механизмы, блоки) проверен и на нем отсутствуют дефекты. При этом инспектор имеет возможность внести примечания, если посчитает нужным, и произвести фотофиксацию с привязкой именно к тому узлу (механизму, блоку), который был проверен.

Шаг четвертый. Выгрузка отчёта. Данные по обходу и осмотру башенного крана выгружаются в виде таблицы, сформированной в программе Microsoft Word, которая отвечает также и нормативным документам РД 10-112-2-09 таб. 6, в которой указываются: наименование узла, вид дефекта, описание дефекта и сроки устранения дефектов, а также столбец с комментариями инспектора во время обхода (таблица 3). Таким образом, формируется ведомость дефектов, которую можно использовать для оперативного реагирования на обеспечение технической исправности башенного крана во время эксплуатации.

Анализ выгруженных данных предполагает количественную оценку образовавшихся

во время эксплуатации дефектов, выраженных в виде баллов, которые можно привести к единому числовому значению и обозначить как ИНДЕКС ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ (ИТС) башенного крана.

ИНДЕКС ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ представляет собой обобщенный показатель, выраженный в баллах и указывающий на правильность эксплуатации башенных кранов. Программный комплекс, который позволяет рассчитать ИТС является отличным инструментом в руках компаний, которые сдают свою технику в аренду. Использование данного инструмента позволит компании оценить правильность эксплуатации башенных кранов, которые находятся в руках арендаторов на период договорных отношений. Таким образом, компания может заранее подготовиться к устранению дефектов, приобрести необходимые запасные части для проведения ремонтных работ после демонтажа башенного крана.

ВМ-технология, применяемая для расчета ИТС башенных кранов, выступает аккумулятором, в котором может сочетаться геометрические параметры башенного крана и математический алгоритм для их оценки.

Для расчета ИТС принимаем бальную систему оценки согласно нормативного документа

Таблица 3 - Ведомость дефектов
Table 3 - Defect list

№ п/п	Наименование узла, элемента	Вид дефекта согласно таб. 2 РД 10-112-2-09	Описание дефекта	Заключение о необходимости и сроках устранения дефекта
1	2	3	4	5
1. Нижнее рельсовое строение				
1.1	Земляное полотно			
2. Верхнее рельсовое строение				
2.1	Рельсы			
	Призма			
	Путевое оборудование			
2. Металлоконструкции				
3.1	Опорная рама			
3.2	Башня (секции)			
3.3	Опорно-поворотное устройство			
3.4	Оголовок башни			
3.5	Консоль противовеса			
3.6	Стрела (секции)			
3.7	МК ходовой части			
3. Механизмы				
4.1	Механизм передвижения			
4.2	Механизм поворота			
4.3	Механизм изменения вылета (грузовая тележка)			
4.4	Механизм подъема			
4. Электрооборудование и устройства безопасности				
5.2	Ограничители грузоподъемности			
5.3	Ограничитель высоты подъема			
5.4	Ограничитель вылета			
5.6	Анемометр			
5.7	Противоугольные устройства			
5.8	Упоры			

РД 10-112-2-09 п.8 п.п 8.1.5, в котором сказано: «Решение о возможности дальнейшей эксплуатации принимает комиссия с учетом следующих рекомендаций:

- при суммарном числе баллов менее 5 после ремонта кран может эксплуатироваться с паспортной грузоподъемностью;

- при суммарном числе баллов от 5 до 10 включительно в случаях, когда имеются дефекты не менее 3 баллов, грузоподъемность крана после ремонта на всех вылетах должна быть снижена не менее чем на 25% (кран должен быть переведен в более низкую размерную группу), и к паспорту приложены соответствующие грузовые характеристики, а ОГП соответственно должен быть перенастроен (в необходимых случаях должен быть уменьшен противовес);

- при суммарном числе баллов более 10 кран подлежит снятию с эксплуатации и списанию либо должна быть произведена замена дефектного узла.»

В результате получается количественная

оценка образовавшихся дефектов во время эксплуатации башенных кранов. При этом программа автоматически формирует отчет по результатам обхода, и все данные сразу попадают на сервер компании и вышестоящему руководству. В результате программа при формировании отчета присваивает ИТС объекту по самому худшему башенному крану на этом объекте, и тем самым сигнализируя о том, что на данном объекте есть нарушения технической эксплуатации башенных кранов.

Выводы

Практическое применение методики обследования башенного крана на основе ВІМ технологии показало, что существует возможность использовать ВІМ-технологии для эффективного контроля технического состояния башенных кранов. Полученные в ходе мониторинга данные можно визуализировать и представлять в виде подробного отчёта. Данная методика контроля внедряется на объектах Группы Компаний «Эталон».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние строительной отрасли России [Электронный ресурс]. URL: <http://pronowosti.ru/2018/03/04/%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9-%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B8-%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%81/> (дата обращения: 05.10.2018)
2. Приказ Ростехнадзора от 12.11.2013 N 533 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения" (Зарегистрирован в Минюсте России 31.12.2013 N 30992) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157709/ (дата обращения: 17.10.2018)
3. Осипова Е.В., Свидан Н.И. "Пути снижения аварийности башенных кранов" [Электронный ресурс]. URL: <http://maspk.ru/journal/vypusk-7-9-mart-2016/osipova-svidan-puti-snizheniya-avariynosti-bashennykh-kranov/> (дата обращения: 21.10.2018)
4. Кычкин В.И., Рыбинская Л.А. Диагностика технического состояния металлоконструкций строительных и дорожных машин. Оценка остаточного ресурса с учетом риска Учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. — 162 с.
5. Бузуев И.И., Овчинников А.П. Безопасность эксплуатации грузоподъемных машин с истекшим нормативным сроком службы Методические указания по выполнению практических занятий / Самар. гос. техн. ун-т; Сост.: И.И. Бузуев, А.П. Овчинников, Самара, 2009 г., 35 с.
6. А.Б. Пономарев, А.В. Захаров, Д.Г. Золотозубов, С.В. Калошина : Проектирование установки монтажных кранов на строительной площадке. / учеб.-метод. пособие – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 318 с.
7. Котельников В. С., Невзоров Л. А. Качественное проведение технического освидетельствования грузоподъемных кранов -залог их безаварийной эксплуатации. -М.: Изд-во журнала «Безопасность труда в промышленности», 2001. -№ 10. -С. 2-5.
8. РД 10-112-1-04 от 26.04.04 Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения. [Электронный ресурс].URL <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=391295#00950358050590540> (дата обращения: 18.10.2018)
9. СП 12-135-2003 Безопасность труда в строительстве // Аналитический информационный центр «Строитрудо-безопасность». – М: ГУП ЦП, 2003. – С. 54-58
10. Лезина К.С., Вахрушев С.И. «Исследование аварийности и травматизма при эксплуатации башенных кранов» Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Материалы конференции. Т: 2: 2016. 233-241 с.
11. Строительство в России 1966-2017 гг. 2016. - 411-415 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://aftershock.news/?q=node/617981&full> (дата обращения: 18.10.2018)
12. Синельщиков А.В., Булатов Б.Л. Устойчивость башенных кранов при переменных эксплуатационных состояниях//Вестник АГТУ, 2012. № 2 (54). С. 41-44.
13. Даурбеков А.М. Оценка риска при эксплуатации подъемных сооружений / Актуальные направления научных исследований: перспективы развития : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 16 июля 2017 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – 156-158 с.
14. Солодовников А.В, Зарипов Н.З. Проведение обследования технического состояния и проверка документации

- объектов на которых используются подъемные сооружения. Изд. 5-е, -Уфа: УГНТУ, 2014. -89 с.
15. Стерехов А.В., Фахретдинов А.Н., Симонов н.в., Сыроежкин В.Ю., Разинков В.К. «Оценка опасности подъемных сооружений при осуществлении производственного контроля и экспертизы промышленной безопасности» / Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов №: 4 : 2015 страницы: 65-67 с.
 16. Шарманов В.В. Методика оценки факторов достижения безопасности на строительной площадке на основе информационного моделирования Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 3 (34). С. 72-79.
 17. Морозова Т.Ф., Шарманов В.В., Мамаев А.Е., Софронеева С.Н. Оценка состояния техники безопасности и охраны труда на строительной площадке на основе BIM технологий В сборнике: ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ ВЕСНА - 2016. Материалы 14-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. Ответственный редактор: И. П. Степанова. 2016. С. 181-187.
 18. Шарманов В.В., Симанкина Т.Л., Мамаев А.Е. Контроль рисков строительства на основе BIM-технологий Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 12 (63). С. 113-124.
 19. РД 10-112-2-09 «Методические рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.internet-law.ru/stroyka/doc/57196/> (дата обращения: 12.10.2018)
 20. РД 10-112-3-97 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 3. Башенные, стреловые несамостоятельные и мачтовые краны, краны-лесопогрузчики» [Электронный ресурс]. URL: http://www.nprpego.com/Libr/Docs/Metod/10_112_3_97.pdf (дата обращения: 12.10.2018)
 21. Мамаев А.Е. Методика мониторинга календарного графика строительства Фундаментальные исследования 2017. № 8-2. С. 270-275

REFERENCES

1. Sostoianie stroitelnoi otrasli Rossii [State of the Russian construction industry]. Retrieved from: <http://pronowosti.ru/2018/03/04/%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9-%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B8-%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%81/> [in Russian].
2. Prikaz Rostekhnadzora ot 12.11.2013 N 533 "Ob utverzhdenii Federalnykh norm i pravil v oblasti promyshlennoi bezopasnosti "Pravila bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov, na kotorykh ispolzuiutsia podiemnye sooruzheniia" (Zaregistririvan v Miniuste Rossii 31.12.2013 N 30992) [Order of Rostekhnadzor of 12.11.2013 N 533 "On Approval of Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety" Safety Regulations for Hazardous Production Facilities Using Lifting Facilities "(Registered in the Ministry of Justice of Russia 31.12.2013 N 30992)]. Retrieved from: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157709/ [in Russian].
3. Osipova, Ye.V., & Svidan, N.I. (2016). Puti snizheniia avariinosti bashennykh kranov [Ways to reduce the tower cranes' accident rate]. Retrieved from: <http://maspk.ru/journal/vypusk-7-9-mart-2016/osipova-svidan-puti-snizheniya-avariynosti-bashennykh-kranov/> [in Russian].
4. Kychkin, V.I., & Rybinskaia, L.A. (2010). Diagnostika tekhnicheskogo sostoiianiia metallokonstruksii stroitelnykh i dorozhnykh mashin. Otsenka ostatochnogo resursa s uchetom riska [Construction and road machines' metal structures technical condition diagnostics. Risk assessment of residual resource]. Perm: Perm State Technical University Publishing House [in Russian].
5. Buzuev, I.I., & Ovchinnikov, A.P. (2009). Bezopasnost ekspluatatsii gruzopodemnykh mashin s istekshim normativnym srokom sluzhby Metodicheskie ukazaniia po vypolneniiu prakticheskikh zanyatii [Safety of load-lifting machines with expired standard service life operation. Guidelines for the practical exercises fulfillment]. Samara: Samara State Technical University Publishing House [in Russian].
6. Ponomarev, A.B., Zakharov, A.V., Zolotozubov, D.G., & Kaloshina, S.V. (2015). Proektirovanie ustanovki montazhnykh kranov na stroitelnoi ploschadke [Erecting cranes' installation designing at the construction site]. Perm: Perm National Research Polytechnical University Publishing House [in Russian].
7. Kotelnikov, V.S., & Nevzorov, L.A. (2001). Kachestvennoe provedenie tekhnicheskogo osvidetelstvovaniia gruzopodemnykh kranov -zalog ikh bezavariinoi ekspluatatsii [High-quality technical examination of cranes - a guarantee of their trouble-free operation]. Moscow: Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety, 10, 2-5 [in Russian].
8. Rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniiu gruzopodemnykh mashin. Obshchie polozeniia [Recommendations for expert examination of lifting machines. General provisions]. Retrieved from: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=391295#00950358050590540> [in Russian].
9. Bezopasnost truda v promyshlennosti [Labor safety in industry]. Analytical information center "Stroitrudbezopasnost". Moscow: GUP CP (2003). [in Russian].
10. Lezina, K.S., & Vakhrushev, S.I. (2016). Issledovanie avariinosti i travmatizma pri ekspluatatsii bashennykh kranov [Investigation of accidents and injuries in the operation of tower cranes]. Perm National Research Polytechnical University. Conference proceedings, V. 2, 233-241 [in Russian].
11. Stroitelstvo v Rossii 1966 – 2017 [Construction in Russia 1966 – 2017]. Retrieved from: <https://aftershock.news/?q=node/617981&full>
12. Sinelshchikov, A.V., & Bulatov, B.L. (2012). Ustoichivost bashennykh kranov pri peremennykh ekspluatatsionnykh sostoianiiakh [Stability of tower cranes under varying operational conditions]. Vestnik AGTU – AGTU Herald, 2 (54), 41-44 [in Russian].
13. Daurbekov, A.M. (2017). Otsenka riskapri ekspluatatsii podemnykh sooruzhenii [Risk assessment during lifting equipment operation]. Current research areas: development prospects: materials of the II International. scientific-practical conf. (Cheboksary, July 16, 2017) [in Russian].
14. Solodovnikov, A.V., & Zaripov, N.Z. (2014). Provedenie obsledovaniia tekhnicheskogo sostoiianiia i proverka dokumentatsii obektov na kotorykh ispolzuiutsia podemnye sooruzheniia [Conducting a technical examination and checking the documentation of facilities where lifting equipment is used]. Ufa: YGNTU [in Russian].

15. Sterekhov, A.V., Fakhretdinov, A.N., Simonov, N.V., Syroezhkin, V.Yu., & Razinkov, V.K. (2015). Otsenka opasnosti podiomnykh sooruzhenii pri osushchestvlenii proizvodstvennogo kontrolya i ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti [Hazard assessment of lifting facilities at the industrial control and industrial safety examination implementation]. Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov – Industrial safety examination and dangerous industrial objects diagnostics, 4, 65-67 [in Russian].
16. Sharmanov, V.V. (2017). Metodika otsenki faktorov dostizheniia bezopasnosti na stroitelnoi ploshchadke na osnove informatsionnogo modelirovaniia [Methodology for assessing safety factors at a construction site based on information modeling]. Akademichesky vestnik UralNIiproekt RAASN – Academic Herald UralNIiproekt RAASN, 3, 72-79 [in Russian].
17. Morozova, T.F., Sharmanov, V.V., Mamaev, A.Ye., & Sofroneeva, S.N. (2016). Otsenka sostoiianiia tekhniki bezopasnosti i okhrany truda na stroitelnoi ploshchadke na osnove BIM tekhnologii [Safety state and labor protection assessment at the construction site based on BIM technologies]. FAR EASTERN SPRING - 2016. Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference on Ecology and Safety, 181-187 [in Russian].
18. Sharmanov, V.V., Simankina, T.L., & Mamaev, A.Ye. (2017). Kontrol riskov stroitelstva na osnove BIM-tekhnologii [BIM-based construction risk control]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzhenii - Unique buildings and structures construction, 12 (63), 113-124 [in Russian].
19. Metodicheskie rekomendatsii po ekspertnomu obsledovaniiu gruzopodemnykh mashin. Chast 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.internet-law.ru/stroyka/doc/57196/> (дата обращения: 12.10.2018) Krany strelovye obshchego naznacheniiia i krany-manipuliatory gruzopodemnye [Guidelines for expert examination of lifting machines. Part 2. General-purpose jib cranes and load-lifting cranes]. Retrieved from: <http://www.internet-law.ru/stroyka/doc/57196/> [in Russian].
20. Metodicheskie ukazaniia po obsledovaniiu gruzopodemnykh mashin s istekshim srokom sluzhby. Chast 3. Bashennye, strelovye nesamokhodnye i mactovye krany, krany-lesopogruzchiki [Guidelines for the expired service life lifting trucks examination. Part 3. Tower, jib non-propelled and mast cranes, timber cranes]. Retrieved from: http://www.npego.com/Libr/Docs/Metod/10_112_3_97.pdf [in Russian].
21. Mamaev, A.Ye. (2017). Metodika monitoringa kalendarnogo grafika stroitelstva [Construction schedule monitoring methods]. Fundamentalnye issledovaniia – Fundamental Studies, 8-2, 270-275 [in Russian].

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ

IV. PROBLEMS AND OPINIONS



С.В. Бычков // S.V. Bychkov
 sergeibychkov@gmail.com

горный инженер, Университет Британской Колумбии, Ванкувер, Канада
 University of British Columbia, Vancouver, Canada

УДК 528.2+550.3+551.1

КОНДЕНСИРОВАННАЯ ПЛАЗМА КАК ГЕНЕРАТОР ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ?

CONDENSED PLASMA AS A GENERATOR OF EARTHQUAKES?

Теория Рейда, объясняющая происхождение землетрясений как выброс земной корой энергии упругих деформаций, не позволяет создать теорию глубокофокусных землетрясений. Можно уверенно сказать: если бы человечество не испытало на печальном опыте катастрофы, вызванные глубокофокусными землетрясениями, то учёные до сих пор бы утверждали, что такие события не могут иметь место в природе, так как ожидать на глубинах сотен километров упругие деформации блоков, плавающих в полурасплавленной и расплавленной магме, довольно сомнительное занятие. В представленной работе показана модель глубокофокусного землетрясения, которая представляет собой хорошо знакомый сантехникам классический гидроудар с последующим фазовым переходом и образованием плазмы. Известно, что там, где течёт жидкость (в нашем случае - магма) по различного рода трубам и магистралям (в нашем случае – это различного рода трещины в мантии, жерла вулканов, кимберлитовые трубки), во все времена случались, случаются и будут случаться гидравлические удары. Этот рутинный процесс в гидродинамике, изученный вдоль и поперёк, вызывает рождение в недрах земли плазму особого рода - тёплую плотную материю, которая, по нашему мнению, и является одним из генераторов подземных толчков.

Reid's theory, which explains the origin of earthquakes as the release of elastic deformation energy by the earth's crust, does not allow to create deep-focus earthquakes' theory. We can confidently say: - if humanity had not experienced the catastrophe caused by deep-focus earthquakes, scientists still would argue if such events can take place in nature, as to expect elastic deformation of blocks floating in semi-molten and molten magma is a pretty dubious occupation. In the present work, a model of a deep-focus earthquake is shown, which is a well-known to plumbers classic hydraulic shock with a subsequent phase transition and plasma formation. It is known that where fluid flows (in our case, magma) through various pipes and mains (in our case, these are various cracks in the mantle, volcanic vents, kimberlite pipes), there have always been, will and will happen, hydraulic shocks. This a routine process in hydrodynamics, studied along and across, causes the birth of a special kind of plasma in the bowels of the earth - warm dense matter, which in our opinion is one of the aftershocks' generators. This paper discusses the possibility of obtaining TPV due to the hydraulic shock energy.

Ключевые слова: ПЛАЗМА, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, ГОРНЫЙ УДАР, УДАРНАЯ ВОЛНА, ИМПУЛЬС, МАГМА
Key words: PLASMA, EARTHQUAKE, ROCK SHOCK, SHOCK WAVE, IMPULSE, MAGMA

Глубокофокусные землетрясения были открыты Г. Тернером в 1922 году [1], что стало сюрпризом для всех сейсмологов мира, ибо обычно глубина очагов землетрясений не превышает 70 км. Оказалось, что это не так, и в отдельных случаях очаги лежат гораздо глубже - до 700 км. и больше (Максимальная глубина гипоцентров глубокофокус-

ных землетрясений - 720 километров зарегистрирована на территории Индонезии в 1933, 1934 и 1943 годах). Этот факт создал большие трудности в объяснении природы и механизма землетрясений, ибо подземные толчки почти всегда связаны с геологическими нарушениями и движением горных блоков. Так как на очень большой глубине вещество должно находиться

если не в расплавленном, то, по крайней мере, в пластическом состоянии. Следовательно, глубокофокусное землетрясение не может быть вызвано упругими напряжениями. Причина его лежит либо в каких-то физико-химических изменениях свойств пород, связанных с изменением объёма масс, либо в приложении к пластической массе какого-то внезапного и очень большого усилия, на которое эта масса вынуждена реагировать как хрупкое тело. Это очевидно, но современная сейсмология продолжает ссылаться на мифические напряжения упругих деформаций, сдвигая выдвинутые гипотезы таких землетрясений большими температурными факторами и огромным давлением. Некоторые учёные объясняют глубокофокусные землетрясения механизмом обратной связи «деформация-температура», который может вызвать взрывообразное увеличение температуры и скорости скольжения элементов горного массива и привести к землетрясению [2]. Другие учёные предложили модель дегидратации горного массива. В этой модели скольжение горных блоков в зонах глубоких землетрясений приписывается влиянию захваченных флюидов, которые могут противодействовать силам сцепления в трещинах пород, что ослабляет горный участок и может привести к внезапному разрушению блока [3]. Хорошо известна модель учёных из Геологической службы США П. Бриджмэна и С. Керби. Их модель основана на предположении, что под действием сдвиговых напряжений может происходить фазовое изменение вещества в слое. Из-за резкого изменения кристаллической структуры прочность породы уменьшается, и в ней может произойти проскальзывание [4]. Как мы видим, общее направление всех исследований сводится к схеме, описанной группой исследователей [5]: «Внутри тела, по которому проходит фазовая граница, отделяющая друг от друга две полиморфные модификации образуется метастабильная фаза. Это превращение в стабильную модификацию может происходить скачкообразно в виде быстрых лавинообразных процессов. При этом необходимым условием возникновения скачкообразного режима твердотельного превращения является отсутствие быстрых изменений внешних условий и наличие обратной связи между скоростью превращения и концентрацией новой фазы. То есть, если образующаяся новая фаза путем локального изменения термодинамических условий и параметров превращения оказывает каталитическое воздействие на скорость реакции». Трудности обоснования такого рода моделей очевидны.

Они связаны с недостатком информации химического состава пород мантии, параметров реальных термодинамических условий, существующих на такой глубине, и полным отсутствием кинетики протекающих процессов. Ещё хотелось бы акцентировать внимание на том факте, что все учёные ссылаются на мифические скольжения и прочие перемещения блоков, вызванных фазовыми превращениями, хотя очевидно, что там, на большой глубине, нет «пустых комнат», куда бы можно было переместиться горной плитой. На основании современных данных, таких как: плотность, упругость, электропроводность, радиоактивность, температура и др. можно считать, что мантия имеет неоднородное строение и сложена породами с различными физическими свойствами, которые разнятся в зависимости от глубин и географического расположения в самых широких пределах. На основании изучения сейсмограмм мы можем предположить, что в верхней части мантии породы находятся в пластическом состоянии. С глубиной количество жидкой фазы (магмы) увеличивается, и она под давлением движется «ручейками и речками» среди пород мантии как по горизонтальным, так и по вертикальным каналам, образуя магматические купола и выходя на поверхность в зонах разломов в виде вулканов [6 видеофайл]. Просматривая это видео, можно легко представить грандиозный объём магмы, текущий по каналам внутри Земли, и скорость её потока! Современная теория предполагает движение тектонических плит по астеносфере, которая находится в частично размягченном или в жидком глубинном слое пониженной вязкости. Исследования сейсмических волн не показывают чётко выдержанных границ астеносферы в пространстве мантии. Для многих областей выявлены слои, расположенные как по вертикали, так и по горизонтали, которые могут хаотично прерываться или резко менять направление. Глубина залегания астеносферных слоев варьирует от 50 км до многих сотен, а нижняя граница мантии фактически является неопределенной. Исходя из этого можно заключить, что минеральный состав мантии меняется в зависимости от температуры и давления, и это особенно ярко выражено на так называемых глобальных сейсмических рубежах 410 и 670 км., где происходят значительные изменения в минеральном составе мантийных пород. Минеральные преобразования отмечаются также и на глубинах ~ 850, 1200, 1700, 2000 и 2200-2300 км, то есть в пределах нижней мантии. Это важное обстоятельство позволяет отказаться от представления об её однородной структуре.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В МАНТИИ ЗЕМЛИ

Вопрос возможности гидравлических ударов в магматических каналах мантии упирается в вопрос строения Земли и конкретно наличия в мантии необходимого количества подвижной магмы, способной с достаточной скоростью перемещаться по мантийным каналам. Согласно современным представлениям, подвижная магма присутствует в мантии в небольших количествах в магматических камерах вулканов на относительно небольших глубинах, следовательно, серьёзные гидроудары в мантии Земли невозможны. По мнению современных учёных, основной объём магмы в верхней и нижней частях мантии находится в виде твёрдого тела, и только малая часть мантии - астеносфера представляет собой сильновязкий расплав. При этом учёные ссылаются на данные сейсморазведки, а именно на непроходимость S волн сквозь жидкие среды. На этом факторе строится теория строения Земли и мантии, и этим фактом оперируют многие современные геофизики. Но существуют многочисленные факты, указывающие на то, что подвижная магма в мантии Земли может находиться в виде некоторого количества маленьких и больших бассейнов с её перетеканием из одного бассейна в другие, которые попросту невидимы для S волн. Это подтверждается таким существенным фактом, как наличие в земной коре Батолитов, объёмы которых могут достигать $1.8 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$. (Андский батолит). Рис.1

Очевидно, что если раньше природа могла образовывать огромные бассейны магмы, то почему она не может образовывать такие объёмы в мантии сегодня? Следовательно, запрет гидроудара, связанный со строением Земли, отсутствует.

Как мы уже отметили, огромное количество энергии, освобождающейся при глубокофокусных землетрясениях, а также резкий и внезапный характер ее выделения заставляют предположить, что первоисточник глубинных толчков никаким образом не может быть связан с механическими перемещениями пластических масс или горных блоков на глубине нескольких сотен километров с выделением энергии упругих деформаций. Отбрасывая различные экзотические гипотезы возникновения глубокофокусных землетрясений, типа резкого смещения ядра Земли с ударом по внутренней оболочке мантии, мы приходим к выводу, что единственно возможным источником образования глубокофокусного землетрясения является энергия фазового перехода вещества мантии. Нам только остается найти источник энергии, способный форсирова-

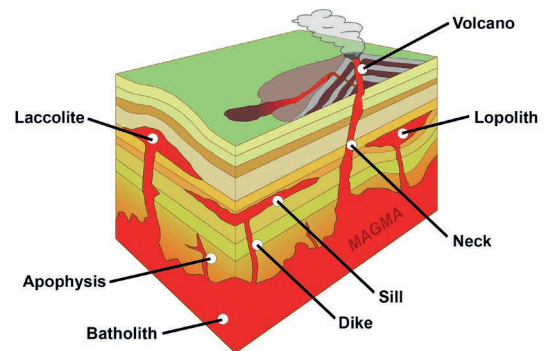


Рисунок 1. Диаграмма строения земной коры
Figure 1. The diagram of the structure of the Earth's crust

но вызвать фазовый переход вещества мантии. По нашему мнению таким источником энергии может быть гидравлический удар магмы, возникающий в момент внезапного перекрытия канала движения магмы сместившимся блоком пород мантии. Гидравлический удар — это скачок давления в какой-либо системе, заполненной жидкостью, вызванный быстрым изменением скорости потока. Гидроудар детально изучен современной наукой [7] [8] [9] [10], и нам остаётся только обратить внимание на некоторые моменты этого явления. Гидравлический удар проявляется только в жёстких трубопроводах, что вполне соответствует условиям движения магмы по каналам горного массива. В результате внезапного перекрытия канала сместившимся блоком пород поток магмы останавливается, и как по сценарию классического гидроудара его кинетическая энергия превращается в потенциальную энергию упругого сжатия магмы, а также потенциальную энергию упругого растяжения пород, образующих магистральный канал. Всё это приводит к тому, что давление в месте остановки магмы стремительно возрастёт: тем больше, чем выше скорость магмы и чем меньше её сжимаемость, а также чем выше жёсткость окружающих пород. Это повышение давления и является гидравлическим ударом внезапно остановленной магмы и первым этапом образования глубокофокусного землетрясения. В соответствии с расчетной формулой повышения давления во время гидравлического удара, полученного российским ученым Жуковским еще в 1898 году, энергия гидравлического удара будет зависеть от минерального состава магмы, плотности, состава окружающих пород, параметров движения магмы, его объема.

$$\Delta P = \rho \cdot \Delta v \cdot c \quad (1)$$

где ΔP - скачок давления; ρ - плотность жидкости; Δv - изменение скорости жидкости; c - скорость

распространения ударной волны.

В свою очередь скорость распространения ударной волны определяется по формуле:

$$c = 1/\sqrt{(\rho \cdot \beta + 2 \cdot \rho \cdot r / (\delta \cdot E))} \quad (2)$$

где c - скорость ударной волны; $\sqrt{\quad}$ - операция с квадратным корнем; ρ - удельная плотность жидкости; β - сжимаемость жидкости; r - внутренний радиус трубы; δ - толщина стенки трубы; E - модуль упругости материала трубы (модуль Юнга).

ОБРАЗОВАНИЕ ТЁПЛОГО ПЛОТНОГО ВЕЩЕСТВА

В лабораториях российского Сарова и в американском Лос-Аламосе проводятся опыты по получению ТПВ с показателями давлений в экспериментах в десятки тысяч атмосфер при быстром нагревании образца мощным лазером или магнитным полем. Один из наиболее эффективных способов получения ТПВ в лабораториях заключается в использовании ударной волны мощностью на уровне Тераватт [11]. Этот способ получения ТПВ эффективно использует природа в виде гидроудара в мантии Земли, который служит источником энергии для скачкообразного фазового перехода с последующим взрывообразным выделением энергии землетрясения, связанным с образованием плотной плазмы или так называемого тёплого плотного вещества. Как известно ТПВ, это такое агрегатное состояние вещества, которое по своим параметрам находится между твёрдым телом и идеальной плазмой. Оно слишком плотное, чтобы быть описанным как плазма, и слишком горячее, чтобы относиться к физике твёрдого тела. Может образовываться из разных веществ — от водорода до металлов. Современное состояние теоретической и практической базы позволили получить ТПВ в лабораторных условиях многих стран. Давая определение ТПВ, физики говорят: «Это состояние материи достаточно плотное, чтобы не быть плазмой, и слишком горячее, чтобы описываться методами физики конденсированного состояния». ТПВ намного плотнее, чем плазма — от 0,01 до 100 г/см³. и гораздо холоднее, чем высокотемпературная плазма. В некоторых случаях оно может иметь удельный вес в два раза больше, чем твёрдое вещество, из которого оно получено. Но и твёрдым телом его тоже назвать нельзя — атомы вещества имеют слишком большие скорости. Существование ТПВ возможно только при больших давлениях и высоких температурах, когда кулоновские силы сопоставимы с силами теплового движения.

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ГЛУБОКОФОКУСНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Исходя из физико-химических условий

существования материи мантии в недрах Земли, представляем вам модель образования глубокофокусного землетрясения. Гидроудар при изначальном огромном давлении и высоком температурном фоне на глубине нескольких сотен километров, где вещества уже находятся и приобретают экстремальные и экзотические свойства и претерпевают необычные трансформации (графит - алмаз), ставит окружающие породы мантии в крайне неравновесные условия. Энергия ударной волны гидроудара вызовет мгновенный разогрев и так уже довольно горячего вещества мантии в районе события на сотни и тысячи градусов, а следовательно, мгновенное увеличение объёма окружающих пород. Плюс ко всему во время гидроудара вследствие малой сжимаемости магмы и высокой жёсткости окружающих пород, скачок давления будет воздействовать практически на весь объём, участвующий в процессе, то есть заберёт всю кинетическую энергию, которой обладал поток магмы, а эти объёмы могут быть довольно значительны. Мгновенное повышение давления возможно на тысячи атмосфер. Таким образом резким скачком давления будут соответствовать и гигантские ускорения и торможения частичек вещества при прохождении через них возникшего фронта ударной волны. Результатом этого процесса, по аналогии лабораторных экспериментов в Лос-Аламосе и других лабораториях мира, станет появление ТПВ, что вызовет мгновенное увеличение его объёма [12]. Говоря о свойстве ТПВ мгновенно увеличивать свой объём, мы имеем в виду фемтосекунды. Уровень давлений и температур ТПВ таков, что, если его чем-нибудь не удерживать (например, мощным магнитным полем), оно, мгновенно расширяясь, постарается буквально разлететься (взорваться) и остыть, превращаясь в вещество с другим диапазоном параметров. Фемтосекундная скорость приложения нагрузки создаст чудовищные напряжения в материале и тем самым включит новые механизмы деформации с образованием обвального разрушения горного массива по типу цепной реакции, ибо при столь быстрых воздействиях сопротивление разрушению твердых тел становится сравнимым с предельной теоретической прочностью, определяемой непосредственно потенциалом межатомных взаимодействий. Все перечисленные выше факторы приведут к фазовому переходу вещества мантии, образованию энергии глубокофокусного землетрясения и запустят в горном массиве хорошо изученный процесс упругого удара, который в виде механического импульса распространится в массиве

со скоростью сейсмической волны. На фронте волны будет действовать ньютоновская сила изменения импульса, давление которой будет пропорционально производной плотности импульса по времени и которая при выходе на поверхность вызовет сейсмические разрушения. Количество движения будет распространяться в среде в виде продольной волны P , а момент количества движения в виде поперечной волны S . Существует довольно много сведений, что при сильных одиночных гидравлических ударах или при высокочастотном рое слабых ударов имеют место необычные явления, не сводимые к традиционной механике и приводящие к выделению дополнительной энергии. Особенно часто отмечают видимое глазом свечение и аномальный нагрев зоны очага гидроудара.

КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ГЛУБОКОФОКУСНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Для ответа на вопросы, хватит ли энергии гидроудара для образования ТПВ и хватит ли энергии ТПВ для мощного землетрясения, будем придерживаться схемы образования и существования ТПВ Nevada Seismological Lab на (рисунок 2).

Для начала определим энергию гидроудара. Как мы видим из формулы Жуковского, она будет зависеть от удельной плотности магмы, её скорости и объёма. На сегодняшний день известно три вида излившейся магмы: базальтовая, карбонатная и кремневая. Базальтовая лава - это основной тип лавы, извергаемый из мантии. Она наполовину состоит из диоксида кремния, а наполовину - из оксидов алюминия, железа, магния и других металлов. Эта лава очень подвижна и способна течь со скоростью 2 м/с. Имеет высокую температуру (1200—1300 °С). Карбонатная лава наполовину состоит из

карбонатов натрия и калия. Это самая холодная и жидкая лава, она растекается подобно воде. Температура карбонатной лавы всего 510—600 °С. Кремневая лава обычно очень вязкая. Средняя скорость потока такой лавы — несколько метров в день, а температура — 800—900 °С. Она содержит 53-62 % диоксида кремния. Если его содержание достигает 65 %, то лава становится очень вязкой и медленной. Указанные скорости и температуры, измеренные при извержении вулканов на поверхности земли, естественно, имеют другие, более высокие параметры на большой глубине. Выделяемая при гидроударе в мантии Земли энергия будет напрямую зависеть от глубины произошедшего события, ибо гидроудар на небольшой глубине (вулканическое землетрясение) позволит горному массиву у подошвы вулкана “дышать” (вспучивать массив). Это приведёт к ослаблению сопротивления стенок каналов, по которым движется магма, а согласно формуле Жуковского, податливость стенок природного “трубопровода” значительно снижает силу гидроудара в месте остановки жидкости. Это доказано многочисленными мелкофокусными вулканическими землетрясениями, которые очень редко превышают силу в $M_1,6$. Если же каналы движения магмы наполнены газами и по мере её продвижения к поверхности они не успевают рассеяться, то это способно предотвратить или существенно снизить гидроудар. В этом случае газы играют роль амортизатора, так как по мере продвижения магмы нарастает сжатие газов, и оно оказывает сопротивление движению магмы по каналу в мантии, постепенно замедляя её скорость. Следует понимать, что эти факторы лишь растягивают процесс гидроудара во времени, хотя общая энергия гидравлического удара остаётся прежней. Однако за

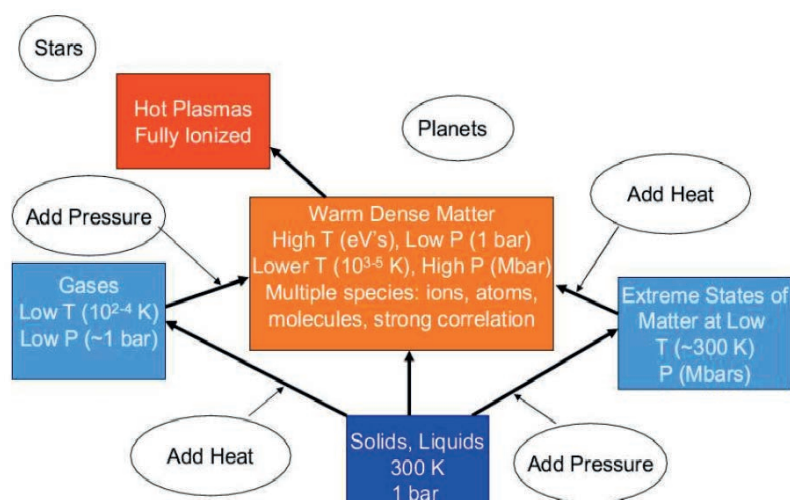


Рисунок 2. Условия образования ТПВ по Nevada Seismological Lab
Figure 2. TPV formation conditions according to the Nevada Seismological Lab

счёт увеличения времени процесса снижается его мощность, а значит, и максимальное давление, и максимальное усилие, воздействующее на стенки окружающих пород канала или жерла вулкана. С увеличением сечения потока магмы сила гидроудара значительно возрастает, причём для одного и того же давления этот рост круче линейной зависимости. Дело в том, что энергия гидроудара определяется его длительностью, зависящей от длины и жёсткости пород канала, а также мощностью удара, которая прямо зависит от скачка давления и линейно зависит от скорости потока в момент остановки. Поэтому при той же скорости потока магмы скачок давления будет тем же, но длительность гидроудара, а значит, и его общая энергия возрастут в соответствии с увеличением длины канала. При увеличении сечения канала масса и, следовательно, кинетическая энергия при той же скорости возрастают пропорционально объёму, т.е. кубу их изменения, а потери на трение магмы о стенки жерла возрастают пропорционально площади соприкосновения, то есть квадрату изменения размеров. Следовательно, удельные потери энергии на трение на единицу массы магмы уменьшаются, и при том же внутреннем давлении скорость потока возрастает и увеличивается скачок давления в момент остановки магмы. В результате при одном и том же внутреннем давлении мы получаем сильный гидроудар в канале большого сечения и слабый в маленьком. Современная наука не в силах дать параметры магмы на глубине глубоководного землетрясения, но мы можем опытным путём установить её минимальные параметры. Известно, что алмазы образуются в магме. Для производства искусственных алмазов используется несколько технологий. Основная технология на сегодня – high pressure high temperature — HPHT. Второй метод — chemical vapor deposition — CVD, когда над подложкой создается плазма из атомов углерода, из которой атомы постепенно конденсируются на поверхность, образуя алмаз. Третий метод использует формирование наноразмерных алмазов при помощи ударной волны от взрывчатки [13]. Опытным путём установлено, что минимальная температура образования алмаза составляет около 1400 °С, а давление 50 тысяч атмосфер, то есть мы можем уверенно утверждать, что гидроудар происходит в среде с этими минимальными параметрами, которые в действительности могут быть значительно выше. Будем считать магму несжимаемой со средней плотностью 3.0 т/м³. Второй “скользящий” параметр, который присутствует в формуле

Жуковского, – скорость потока магмы. Известно, что базальтовая лава при излиянии имеет скорость около 2.0 м/с., но её истинное значение на глубине 720 км предсказать невозможно. Возможно 2.0 м/с, а возможно и 10.0 м/с., а возможно и выше. Учитывая температуру и давление, примем скорость магмы 5.0 м/с. При абсолютно жестких стенках трубопровода скорость распространения ударной волны C_v равна скорости распространения звука в магме, следовательно, $C_v = 5760$ м/с. Подставив данные в формулу (1) получим мгновенный скачок давления:

$$\Delta P = \rho \cdot \Delta v \cdot c = 3000 \cdot 5.0 \cdot 5760 = 90 \text{ МПа}$$

где ρ – удельная плотность базальтовой магмы кг/м³, Δv – м/с скорость магмы в момент остановки, C_v равна скорости распространения звука в магме.

Рассчитаем энергию потока магмы:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

где m – масса потока магмы = $V \cdot \rho$ – объём потока магмы, v – скорость потока магмы.

При определении массы потока магмы мы должны определиться с её объёмом. При определении параметров будем исходить из опыта разработок кимберлитовых трубок, диаметр жерл которых нередко составляет 1000 и более метров. Примем диаметр и длину потока магмы 500 метров.

$$m = 3.14 \cdot 2502 \text{ м}^2 \cdot 500 \text{ м} \cdot 3000 \text{ кг/м}^3 = 294524310000 \text{ кг.}$$

$$E_k = 294524310000 \cdot 5^2 / 2 = 3681553875000 \text{ Дж.}$$

Время прохождения гидроудара составит: $500 \text{ м.} / 5760 \text{ м/с} = 0.087 \text{ сек.}$

$$\text{Выделенная мощность: } 3681553875000 / 0.087 = 42316711206896.55 = 42.3 \text{ тераватт}$$

Тритонный эквивалент выделившейся энергии будет равен :

$$1 \text{ килограмм ТНТ} = 4,184 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3681553875000 / 4184000 = 880 \text{ 000 кг. ТНТ.}$$

Согласно The Nevada Seismological Laboratory [14], (таблица 1) сейсмическая энергия, выделяемая при подземном ядерном взрыве мощностью в 1 мегатонну (1 мегатонна тритонного эквивалента = $4,184 \cdot 10^{15}$ Дж), эквивалентна землетрясению с M_i 6. Согласно нашим расчётам, уровень выделенной энергии потоком магмы при гидроударе может составить гигантскую величину и вызвать форшок M_i 3.5-4.0 (!), что соответствует взрыву тактического ядерного заряда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возникает вопрос, достаточно ли выделенной мощности гидравлического удара в

Таблица 1 - Статистика The Nevada Seismological Laboratory
Table 1 - The Nevada Seismological Laboratory Statistics

Richter Magnitude	TNT for Seismic Energy Yield	Example (approximate)
-1.5	6 ounces	Breaking a rock on a lab table
1.0	30 pounds	Large Blast at a Construction Site
1.5	320 pounds	
2.0	1 ton	Large Quarry or Mine Blast
2.5	4.6 tons	
3.0	29 tons	
3.5	73 tons	
4.0	1,000 tons	Small Nuclear Weapon
4.5	5,100 tons	Average Tomado (total energy)
5.0	32,000 tons	
5.5	80,000 tons	Little Skull Mtn., NV Quake, 1992
6.0	1 million tons	Double Spring Flat, NV Quake, 1994
6.5	5 million tons	Northridge, CA Quake, 1994
7.0	32 million tons	Hyogo-Ken Nanbu, Japan Quake, 1995
7.5	160 million tons	Landers, CA Quake, 1992
8.0	1 billion tons	San Francisco, CA Quake, 1906
8.5	5 billion tons	Anchorage, AK Quake, 1964
9.0	32 billion tons	Chilean Quake, 1960
10.0	1 trillion tons	(San-Andreas type fault circling Earth)
12.0	160 trillion tons	(Fault Earth in half through center, OR Earth's daily receipt of solar energy)

магме равной уровня Тераватт для образования ТПВ в мантии Земле? Судя по полученным данным в лабораториях мира – энергии гидроудара в мантии Земли вполне достаточно, чтобы вызвать фазовый переход пород, образовать ТПВ и получить ударную волну, достаточную для сильного землетрясения.

Необходимо также учесть, что породы мантии уже имеют изначально высокое давление и температуру. Также следует учесть,

что мощность гидроудара может составить более значительную величину, чем мы показали.

В настоящий момент возникли и развиваются новые гипотезы механизмов возникновения подземных толчков, одной из которых является гипотеза образования глубокофокусного землетрясения при гидроударе в мантии Земли с выделением энергии фазового перехода и образованием ТПВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Turner H. H. On the arrival of earthquake waves at the antipodes, and the measurement of the focal depth of an earthquake // MNRAS Geophys. Suppl. 1922. Vol. 1. P. 1–13.
2. Griggs D. T, Baker D. W. The origin of deep-focus earthquakes // In Properties of Matter under Unusual Conditions (Eds. H. Mark and S. Fernbach). Wiley Interscience. New York, 1969. P. 23–42.
3. Raleigh C. B., Patterson M. S. Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implications // J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70. P. 3965–3985.
4. Kirby S. H., Durham W. B., Stein L. A. Mantle phase changes and deep earthquake faulting in subducting lithosphere // Science. 1991. Vol. 252. P. 216–225.
5. Kalinin V.A., Rodkin M.V., Tomashevskaya I.S. Geodynamic effects of physicochemical transformations in a solid medium. Moscow.: Science, 1989. 157 p.
6. <https://www.youtube.com/watch?v=4W5QNL-bPps>
7. Brazhkin V.V. et al. "Where is the region of supercritical fluid in the phase diagram?" UFN 182 (11) 1137-1156 (2012) <https://ufn.ru/ru/articles/2012/11/a/>
8. Shu, Jian-Jun (2003). "Modelling vaporous cavitation on fluid transients". International Journal of Pressure Vessels and Piping. 80 (3): 187–195. doi:10.1016/S0308-0161(03)00025-5.
9. Joukowsky, N. (1898), "Über den hydraulischen Stoss in Wasserleitungsröhren" [On the hydraulic hammer in water supply pipes], Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg (1900), series 8 (in German), 9 (5): 1–71
10. Frizell, J. P. (1898), "Pressures resulting from changes of velocity of water in pipes", Transactions of the American Society of Civil Engineers, 39: 1–18, archived from the original on 2017-03-28/
11. Fortov V. "Intense shock waves and extreme states of matter" Phys. Usp. 50 333–353 (2007) <http://www.mathnet.ru/>

- php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ufn&paperid=451&option_lang=eng
12. Wark J, Gregori G, Crowley B. Warm dense matter. Oxford Centre High Energy Density Science. <https://www2.physics.ox.ac.uk/research/oxford-centre-for-high-energy-density-science/research-themes/warm-dense-matter>
 13. Mamontov D. The birthplace of diamonds. Popular mechanics. 2016. № 5. p. 60 <http://www.popmech.ru/technologies/237923-kak-vyrashchivayut-krupneyshie-v-mire-almaz-sdelano-v-rossii/>
 14. Nevada Seismological Lab. What is Richter Magnitude? <http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html>

REFERENCES

1. Turner H. H. On the arrival of earthquake waves at the antipodes, and the measurement of the focal depth of an earthquake // MNRAS Geophys. Suppl. 1922. Vol. 1. P. 1–13.
2. Griggs D. T, Baker D. W. The origin of deep-focus earthquakes // In Properties of Matter under Unusual Conditions (Eds. H. Mark and S. Fernbach). Wiley Interscience. New York, 1969. P. 23–42.
3. Raleigh C. B., Patterson M. S. Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implications // J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70. P. 3965–3985.
4. Kirby S. H., Durham W. B., Stein L. A. Mantle phase changes and deep earthquake faulting in subducting lithosphere // Science. 1991. Vol. 252. P. 216–225.
5. Kalinin V.A. Rodkin M.V., Tomashevskaya I.S. Geodynamic effects of physicochemical transformations in a solid medium. Moscow.: Science, 1989. 157 p.
6. <https://www.youtube.com/watch?v=4W5QNL-bPps>
7. Brazhkin V.V. et al. "Where is the region of supercritical fluid in the phase diagram?" UFN 182 (11) 1137-1156 (2012) <https://ufn.ru/ru/articles/2012/11/a/>
8. Shu, Jian-Jun (2003). "Modelling vaporous cavitation on fluid transients". International Journal of Pressure Vessels and Piping. 80 (3): 187–195. doi:10.1016/S0308-0161(03)00025-5.
9. Joukowsky, N. (1898), "Über den hydraulischen Stoss in Wasserleitungsröhren" [On the hydraulic hammer in water supply pipes], Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg (1900), series 8 (in German), 9 (5): 1–71
10. Frizell, J. P. (1898), "Pressures resulting from changes of velocity of water in pipes", Transactions of the American Society of Civil Engineers, 39: 1–18, archived from the original on 2017-03-28/
11. Fortov V. "Intense shock waves and extreme states of matter" Phys. Usp. 50 333–353 (2007) http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ufn&paperid=451&option_lang=eng
12. Wark J, Gregori G, Crowley B. Warm dense matter. Oxford Centre High Energy Density Science. <https://www2.physics.ox.ac.uk/research/oxford-centre-for-high-energy-density-science/research-themes/warm-dense-matter>
13. Mamontov D. The birthplace of diamonds. Popular mechanics. 2016. № 5. p. 60 <http://www.popmech.ru/technologies/237923-kak-vyrashchivayut-krupneyshie-v-mire-almaz-sdelano-v-rossii/>
14. Nevada Seismological Lab. What is Richter Magnitude? <http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html>



СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ, ИНТЕНСИВНОСТИ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ СКИП-01



с использованием искусственной
нейронной сети

ГОРНЫЙ-ЦОТ

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

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

Модификации прибора СКИП:

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

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

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

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



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

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ РЕКЛАМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Научно-технический журнал «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности» приглашает научные институты, организации и промышленные предприятия разместить информацию о конференциях, выставках, разрабатываемой и выпускаемой продукции в области охраны труда, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной и промышленной безопасности в угольной промышленности, контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а также приборостроения.

РАЗМЕРЫ РЕКЛАМНЫХ МОДУЛЕЙ:

- размер для 1 полосы: 216*303 мм, включая по 3 мм на обрезку с каждой стороны внешнего периметра, на корешок допуск ставить не нужно.
- 1/2 полосы вертикальная: 103*303 мм,
- 1/2 полосы горизонтальная: 216*151 мм
- 1/3 полосы горизонтальная: 216*92 мм
- 1/4 полосы горизонтальная: 216*67 мм
- 1/4 полосы вертикальная в верхнем или нижнем внешнем углу страницы: 103*151 мм

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ СТАТЬЯМ

1. Текст для статьи предоставляется только в текстовом редакторе Word.
2. Объем статьи: не более 4500 печатных знаков с пробелами (без изображений). При использовании фотографий объем текста пропорционально уменьшается.
3. Требования к фотографиям: формат .eps или .tiff с разрешением 300 dpi.
4. Логотип – в форматах .cdr, .eps, при этом шрифты должны быть переведены в кривые.
5. Текст рекламной статьи должен включать заголовок (подзаголовок), выходные данные заказчика: название, адрес, телефон, электронный адрес компании.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАКЕТАМ

1. Размер электронного макета должен соответствовать размерам рекламного модуля.
2. Растровые файлы должны быть в форматах .tif, .psd, .eps с разрешением 300 dpi, векторные – .ai, .eps и .cdr.
3. Оригинал-макеты передаются в цветовой модели CMYK без компрессии.
4. Верстка может быть в форматах Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe InDesign (в этом случае должны предоставляться все связанные элементы, а также все используемые шрифты, обязательно макет должен так же прилагаться в pdf).
5. В макете, подготовленном в пакете Corel Draw не допускается наличие следующих эффектов: shadow, transparency, gradient fill, lens, texture fill и postscript fill. Все вышеперечисленные эффекты Corel Draw должны быть конвертированы в bitmap 300 dpi.
6. Черный цвет текста должен состоять только из черного канала – C:0, M:0, Y:0, K:100 или 100 Black в одноцветной шкале Grayscale.
7. Все текстовые элементы оригинал-макета должны быть переведены в кривые.
8. Текст и важные изображения (логотип и т. п.) не должны располагаться ближе 5 мм к обрезному краю.

Информация о расценках на размещение рекламы размещена на сайте www.ind-saf.ru.

Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.

ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

I. Порядок представления материалов в редакцию

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

3. На основании положений части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации (раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации») представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче ООО «ВостЭКО» (издатель журнала) простой (неисключительной) лицензии. Договор заполняется на бланках по образцам лицензионных договоров с одним или коллективом авторов (при написании статьи несколькими авторами). Лицензионный договор является договором присоединения. Необходимо заполнить и подписать договор, отсканированный вариант отправить по e-mail: yarosh_mv@mail.ru, два первых экземпляра оформленного договора отправить в редакцию по почте: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, д. 1, ООО «ВостЭКО». Договор, подписанный автором/авторами и направленный по электронной почте, признается равнозначным документу на бумажном носителе, подписанному собственноручной подписью, порождающим права и обязанности сторон. Скачать бланки договора можно на сайте www.indsafe.ru.

II. Форма представления рукописи

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте yarosh_mv@mail.ru или на магнитном носителе).

2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.

3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подготовка электронной версии материалов

1. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 12, для заголовка 16, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу и справа 2 см;

2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

Структура статьи

1. Индекс УДК.

2. Фотографии всех авторов (форматы: TIF, Jpeg, Png, не сканированные, не ретушированные, не обрезанные, разрешение 300 dpi).

3. Инициалы и фамилия автора (ов).

4. Место работы.

5. Название статьи.

6. Реферат. *Реферат должен быть информативным, отражать основное содержание статьи и результаты исследований, следовать логике описания результатов в статье, укладываться в объем от 100 до 250 слов. Возможно краткое повторение структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.*

7. Ключевые слова.

8. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.

9. Список литературы (оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 - 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

- публикуемые сведения об авторах (название организации указывается в соответствии с учредительными документами);
- служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;
- адрес электронной почты (e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

Редколлегия

СЛОВО РЕДАКТОРА // EDITORIAL

5 Трубицына Н. Trubitsyna N.

5 Трубицына Н. Trubitsyna N.

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

6 В.В. Иванов, В.В. Семенцов, В.С. Зыков, П.В. Потапов, К.Х. Ли. Определение дополнительных тектонических горизонтальных напряжений вблизи разломов и нарушений в земной коре на основе теории разломообразования андерсона

V.V. Ivanov, V.V. Sementsov, V.S. Zykov, P.V. Potapov, K.KH. Li. Additional tectonic horizontal stresses identification near earth's crust fractures and disruptions based on anderson's fracture formation theory

10 М.С. Плаксин. Современные возможности по разработке методов повышения газовой и газодинамической безопасности при отработке угольных пластов на основе данных, полученных при проведении подготовительных выработок

M.S. Plaksin. Modern opportunities for the gas and gas dynamic safety increasing methods development at coal seam mining based on data received during preparatory opening heading

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

16 С.Б. Романченко, М.О. Девликанов. Влияние дисперсного состава угольной пыли на показатели взрывоопасности

S. B. Romanchenko, M.O. Devlikanov. Coal dust disperse composition effect on the explosivity risks

24 А.И. Фомин, А.А. Осипова. Влияние синдрома профессионального выгорания на уровень производственного травматизма на предприятиях угольной отрасли Кемеровской области

A.I. Fomin, A.A. Osipova. Effect of professional burnout syndrome on production traumatism level at coal branch industry enterprises of Kemerovo region

30 А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов. Аналитическая модель способа оценки пожарной безопасности работников предприятий угольной промышленности

A.I. Fomin, D.A. Besperstov. Coal industry enterprise employees' fire safety evaluation method analytical model

35 А.И. Фомин, Т.Б. Грунској. Совершенствование системы управления профессиональными рисками на нефтяных шахтах

A.I. Fomin, T.V. Grunskoj. Improving the system of professional risk management in oil mines

44 А.С. Ярош. Теория синергетического взаимодействия элементов в системах безопасности опасных производственных объектов в контексте многофункциональных систем безопасности угольных шахт и многофункциональных систем жизнеобеспечения при авариях

A.S. Yarosh. Theory of synergetic interaction of elements in safety systems of hazardous production facilities in the context of multifunctional safety systems of coal mines and multifunctional life support systems in case of accidents

50 А.С. Ярош. Формализация аксиом теории синергетической безопасности систем мфсб и мфсж при ликвидации аварии

A.S. Yarosh. Formalization of the axioms of the theory of synergistic security systems and mfsb mfsj the liquidation of the accident

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

55 М.Л. Ким, В.Н. Костеренко, Л.Д. Певзнер, Р.В. Мещеряков, А.С. Концевой. Система автоматического управления траекторным движением шахтного беспилотного летательного аппарата
M.L. Kim, V.N. Kosterenko, L.D. Pevzner, R.V. Meshcheryakov, A.S. Kontsevov. Automatic trajectory control system of the unmanned aircraft systems in coal mines

62 П.Б. Герике. Неразрушающий контроль дробильно-сортировочного оборудования на обогатительных фабриках Кузбасса
P.B. Gericke. Non-destructive control of crushing and screening equipment at Kuzbass coal preparation plants

70 Н.И. Сысоев, Д.А. Гринько, А.А. Гринько. Математическое моделирование влияния угла приложения ударной нагрузки при бурении горной породы на эффективность сколообразования
N.I. Sysoyev, D.A. Grin'ko, A.A. Grinko. Mathematical modeling of the angle effect of the application shock load while drilling rock on the efficiency of chipping formation

76 В.В. Шарманов, А.Е. Мамаев, Т.Л. Симанкина, М.А. Романович. Методика технической экспертизы башенного крана на основе bim технологии
V.V. Sharmanov, A.Ye. Mamaev, T.L. Simankina, M.A. Romanovich. Tower crane technical examination methods based on bim technology

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ // PROBLEMS AND OPINIONS

87 С.В. Бычков. Конденсированная плазма как генератор землетрясений?
S.V. Bychkov. Condensed plasma as a generator of earthquakes?

96 ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ МАТЕРИАЛАМ // ADVERTISING MATERIALS REQUIREMENTS

97 ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ // DEMANDS TO ARTICLES

99 СОДЕРЖАНИЕ // CONTENT

Подписано в печать 19.06.2019. Тираж 1000 экз. Формат 60x90 1/8.

Выпуск 2-2019, дата выхода в свет 25.03.2019

Объем 10 п. л. Заказ № 1 2019 г. Цена свободная.

Типография ООО «ИНТ».

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

Тел. 8 (3842) 657889.