

ВЕСТНИК

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

Научно-технический журнал



Кемерово

1-2014

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

№ 1-2014

Выходит 2 раза в год

Подписной индекс
в Каталоге Агентства
«Роспечать» 2014 г. – 35939

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН

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

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН

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

Учредитель и издатель

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

Адрес издателя и редакции:

650002, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1

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

Компьютерная верстка *М. В. Ярош*

тел. 77-86-62, 64-26-51.

e-mail: yarosh_mv@mail.ru

lee@nc-vostnii.ru

www.minesafety.ru

www.nc-vostnii.ru

Позиция редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов публикуемых материалов

В номере использованы материалы сайтов
www.lori.ru и www.graphicriver.net

© ООО «ВостЭКО», 2014

Адрес типографии:

194214, г. Санкт-Петербург, пр-кт Энгельса, д. 93, офис 509,
тел. 8 (812) 960-21-06.

ООО «РусДэйлиНьюс».

Редакционная коллегия:

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

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

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

М. В. Ярош – редактор ООО «ВостЭКО»

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

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

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

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

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

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

А. С. Ярош – директор
ООО «Научно-исследовательский институт
горной промышленности»,
канд. техн. наук

VESTNIK

OF SAFETY IN COAL MINING SCIENTIFIC CENTER

Scientific-technical magazine

Kemerovo

1 - 2014

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

№ 1-2014

Is issued 2 times a year

Subscription index
in «Rospechat» Agency
Catalogue: Year 2014 – 35939

MAGAZINE IS REGISTERED

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

THE MAGAZINE IS INCLUDED

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

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

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

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

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

www.minesafety.ru
www.nc-vostnii.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.ori.ru и www.graphicriver.net are used**

© Co Ltd «Vost EKO», 2014

Address of the printing
194214, St. Petersburg, prosp. Engels, 93, office 509,
tel. 8 (812) 960-21-06.
OOO «RusDailyNews».

Editorial board:

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

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

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

M. V. Yarosh – OOO «Vost EKO» editor

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

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

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

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

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

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

A. S. Yarosh – director of «Scientific Institute of GP», candidate of technical sciences

ЦЕЛЬ У НАС ОДНА

Уважаемые читатели «Вестника»!

Мы встречаемся с Вами дважды в год. Первый выпуск 2014 года Вы держите в руках. Все публикации отвечают профильной тематике журнала – наиболее актуальным и острым проблемам промышленной безопасности в угледобывающей отрасли. Для Кузбасса это базовая отрасль экономики региона. Поэтому не случайно наш журнал получил прописку именно здесь и издается в Кемерове уже более 50 лет. Однако «география» распространения «Вестника» не ограничивается рамками Кузнецкого бассейна.

Публикации наших авторов одинаково интересны для читателей как на западе, так и на востоке России, во всех горняцких регионах и научно-исследовательских коллективах, для которых проблемы промышленной безопасности в отрасли выходят в профессиональных интересах на первый план. Для издателей и редакционной коллегии «Вестника» это дело всей жизни.

По большому счету все мы единомышленники, ведь несмотря на разность позиций, научных подходов, школ и убеждений, обусловленных практическим опытом, ставим перед собой одну и ту же цель – способствовать своими исследованиями, разработками и проектами безопасности шахтерского труда.

Это вселяет оптимизм и уверенность в то, что круг авторов будет продолжать расти, а интерес к журналу повышаться. Поэтому наряду с выпуском «Вестника», как теперь говорят, «на бумажном носителе», редакция готовится представить в будущем году его электронную версию. Подписчики смогут знакомиться и работать с ней на сайте издателя. Надеюсь, что это будет способствовать укреплению диалога между «Вестником» и Вами, его авторами и читателями.

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





ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – ФАКТОР УКРЕПЛЕНИЯ ПОЗИЦИИ ОТРАСЛИ

Труд шахтера традиционно пользуется заслуженным уважением в нашей стране. Эта серьезная опасная и почетная профессия требует от человека максимальной выдержки и самоотдачи, а часто – отваги и подлинной самоотверженности.

В последние годы угольная отрасль Кузбасса стабильно и успешно развивалась. Угольные предприятия полностью обеспечивали потребности внутреннего рынка, увеличивали объемы экспорта, вводили в строй новые мощности по добыче и обогащению угля, осваивали новые месторождения, строили автомобильные дороги общего пользования и для технологических нужд, прокладывали новые линии электропередач, расширяли железнодорожную инфраструктуру, обеспечивали социальные гарантии и занятость населения угольных городов и поселков региона.

В условиях экономического кризиса тяжело приходится всем, в том числе и шахтерам Кузбасса. Сегодня Правительство Российской Федерации предпринимает действия по реализации ряда мер, направленных на оздоровление угледобывающей отрасли.

Антикризисные меры не главный вопрос оздоровления отрасли, необходимо заниматься внедрением прогрессивных технологий добычи и переработки угля, совершенствованием систем промышленной безопасности. И в подтверждение этому – приоритетными задачами угольных компаний Кузбасса должны стать: непрерывная работа по созданию максимально безопасных условий труда на наших предприятиях; реализация масштабных проектов, программ технического перевооружения и внедрения передовых технологий добычи угля и проведения горных выработок, направленных на повышение безопасности и эффективности производства.

Кузбасс – крупный угольный регион России.

Запасы угля в Кузбассе составляют более 500 млрд тонн (513 млрд тонн).

Даже в условиях экономического кризиса, падения цен на уголь угольщиками Кузбасса в 2013 году удалось достичь значительного снижения количества травм и аварий, добыть рекордное количество угля за всю историю угольной отрасли региона – 203 млн тонн. Второй год подряд Кузбасс перевалил отметку в 200 млн тонн. В 2012-м добыча составила 201,5 млн тонн. План этого года – 205 млн тонн угля.

На долю Кузбасса приходится 57 % всего российского угля, в том числе 75 % – коксующихся марок.

Благодаря Кузбассу Россия является третьей страной в мире по объему экспорта энергетического угля.

В прошлом году потребителям отгружено 197,9 млн тонн угля (в 2012 году – 192 млн тонн), в том числе на экспорт – 109,2 млн тонн (в 2011 году – 101,6 млн тонн).

В настоящее время в Кузбассе действуют 120 угледобывающих предприятий и 40 обогатительных фабрик и установок.

Производственная мощность шахт, разрезов – 245 млн тонн в год по добыче угля, и 166 млн тонн по переработке обогатительными фабриками.

Объем переработки по итогам 2013 года составил 145 млн тонн, что на

5 млн тонн больше, чем в 2012 году (71,4 % от общего объема добычи).

Общая численность трудящихся, занятых в угольной отрасли Кузбасса – 114 тыс. чел.

За последние 14 лет, начиная с 2000 года, намечен рост производительности труда с 107,8 до 216,3 тонны на человека в месяц, средней заработной платы по основному виду деятельности за последний 3 года с 33 до 38 тысяч рублей.

На угледобывающих предприятиях Кузбасса работают современные очистные комплексы, оборудованные и управляемые компьютерами.

На угольные разрезы пришли экскаваторы с емкостью ковша 30–50 м³, БелАЗы грузоподъемностью 220–320 тонн, ведется работа по поставке на разрезы области сверхмощного БелАЗа – грузоподъемностью 450 тонн.

За четыре месяца текущего года угольщиками Кузбасса добыто 68,7 млн тонн угля, что почти на 4 млн тонн больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Особенно значимой проблемой для дальнейшего успешного развития угледобычи в Кузбассе остается обеспечение промышленной безопасности и этому вопросу уделяется самое пристальное внимание.

За последние 14 лет в развитие угольной отрасли вложено более 562 млрд рублей инвестиций. В том числе, более 44 млрд рублей – на безопасность шахтерского труда. Такого не было за всю историю угольной отрасли.

Благодаря этим инвестициям, в Кузбассе построено и введено в эксплуатацию 71 новое, современное, высокопроизводительное предприятие по добыче и переработке угля, которое отвечает всем международным стандартам. Только в 2013 году торжественно сданы два новых современных угледобывающих предприятия с общей проектной мощностью по добыче угля 4,5 млн тонн в год: «Шахта Ерунаковская-VIII» (Новокузнецкий район) и «Шахта Бутовская» (г. Кемерово); две обогатительные фабрики с суммарным объемом переработки 9 млн тонн угля в год: ОФ «Каскад-2» (Прокопьевский район) и 2-ая очередь ОФ «им. Кирова» (г. Ленинск-Кузнецкий).

За счет ввода вышеназванных предприятий отрасли создано 2 800 новых профильных рабочих мест.

Денежные средства инвестиций в безопасность в основном расходуются на приобретение и модернизацию многофункциональных систем безопасности, аэрогазового контроля рудничной атмосферы, мониторинга производственных процессов и работы горно-шахтного оборудования; оборудования для дегазации шахт, проветривания забоев, средств индивидуальной защиты и спасения людей, находящихся под землей, новых средств борьбы с пылью, материалов и оборудования для противоаварийной и противопожарной защиты шахт.

Можно каждую шахту оснастить всевозможной аппаратурой и автоматическими средствами безопасности, однако многое в вопросах безопасности на угольных предприятиях зависит от самих горняков.

Часто причинами аварийных ситуаций становится невыполнение шахтерами элементарных правил, которые не требуют ничего, кроме жесткой, производственной дисциплины и грамотного руководства.

Кузбасс знает, чем всё это заканчивается – аварией с травмированием и гибелью людей.

13 мая на шахте в Турции, где находилось 787 человек, произошла страшная трагедия с большим количеством человеческих жертв. В результате 301 человек погиб и 485 удалось спасти. Авария произошла из-за взрыва трансформатора тяговой подстанции.

По данным средств массовой информации – шахта старая, достаточно глубокая. Горные работы ведутся на глубине около 2 километров.

И как следствие:

- значительное метановыделение;
- большое горное давление;
- большая протяженность горных выработок с трудностью их поддержания;
- ряд опасностей, связанных с горно-геологическими нарушениями, выбросами угля и газа, горными ударами;

– из-за большой протяженности горных выработок и значительной длины кабельной продукции, большого количества соединительных муфт, разъединительных коробок, с ростом сопротивления сети возникли высокие нагрузки на пусковую аппаратуру, что, возможно, и привело к взрыву тяговой подстанции в шахте.

К сожалению, аварии случаются и в других странах. Шахтерский труд везде труден и опасен. Поэтому меры безопасности должны выполняться на каждом предприятии, участке, рабочем месте.

Крупнейшая авария в Турции еще раз показала всему миру, что работа горняка и по сей день остается одной из самых рискованных.

С целью недопущения аналогичных катастроф в России и за рубежом Администрацией Кемеровской области совместно с НЦ ВостНИИ, другими научно-исследовательскими институтами страны и Российской академией наук разработана Целевая программа «Система предупреждения крупных аварий и катастроф на угольных шахтах», направленная на создание системы безопасности, включающей в себя разработку нормативной базы, проведение исследований, разработку инновационных технологий, способов и средств предотвращения и защиты от взрывов метана и угольной пыли. Именно те вопросы, которые волнуют угольщиков на протяжении последних лет. Работа по реализации Программы может быть осуществлена только при содействии Правительства Российской Федерации под патронажем Российской академии наук.

С. В. СПИРИН,
начальник управления угольной промышленности
департамента угольной промышленности и энергетики
Администрации Кемеровской области

I. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОМЕХАНИКА

INDUSTRIAL SAFETY AND GEOMECHANICS

В. И. Альков

ведущий инженер Института угля СО РАН

УДК 622.831.325.3

СКВАЖИНА ДЛЯ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Приведены результаты горно-экспериментальных работ по совершенствованию инструмента для бурения скважин поинтервального гидроразрыва пласта с целью повышения эффективности дегазации. Показаны необходимость и техническая возможность повышения качества бурения для обеспечения перемещения по скважине цилиндрических устройств (пакеров) различной длины с заданным коэффициентом расширения уплотнительных манжет.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ГАЗОНОСНОСТЬ, ДЕГАЗАЦИЯ, СКВАЖИНА, ПОИНТЕРВАЛЬНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ, ПАКЕР, ДИАМЕТР, ПРОСВЕТ, БУРОВАЯ КОРОНКА, РАСШИРИТЕЛЬ-СТАБИЛИЗАТОР

С ростом глубины залегания угольных пластов значительно увеличивается их газоносность, а технологический прогресс обуславливает увеличение объемов добычи угля и концентрацию горных работ. Влияние этих факторов требует соответствующей интенсификации предварительной дегазации пластов, которая в настоящее время становится неотъемлемой частью общего технологического процесса разработки угольных месторождений [1]. В то же время из горного опыта известно, что для достижения необходимой эффективности дегазации неразгруженного пласта традиционными технологиями требуется длительный период времени, неприемлемый по

темпам горных работ [2, 3]. Эта задача интернациональна. Ее решением занимаются во всех угледобывающих странах мира.

В известных работах [4–6] анализируется эффективность дегазационных систем на шахтах Кузбасса и отмечается, что, несмотря на случаи их успешного применения, остается нерешенным ряд вопросов, связанных с формальным подходом к проведению дегазации, низким качеством бурения и герметизации скважин. Исследование характеристик десятков скважин [7] (глубина залегания пласта – 650 м, газоносность – 25 м³/т) показало, что реальный период работы скважин составляет не более шести месяцев (рис. 1).

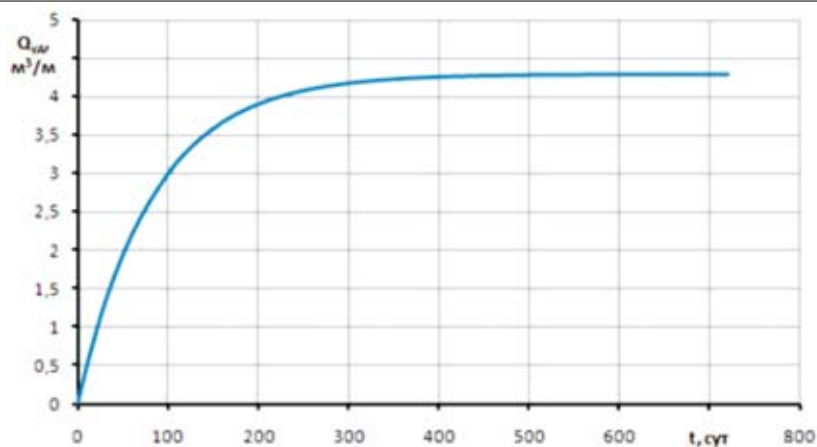


Рисунок 1 – Динамика роста удельного объема метана, каптированного типичной дегазационной скважиной

В таких условиях для достижения коэффициента дегазации пласта, равного 0,3, необходимая плотность бурения скважин составит 0,5 метра, т. е. без применения способов инициирования продуктивности скважин эффективная дегазация практически невозможна. Следует отметить, что рекомендуемое расстояние между дегазационными скважинами составляет 9,9 м [8].

Основными способами повышения продуктивности газодобывающих и дегазационных скважин во всем мире являются гидрорасчленение через скважины с поверхности и гидроразрыв пласта из горных выработок. С появлением станков направленного бурения и ростом технически возможной глубины бурения обычными станками основным направлением стал поинтервальный гидроразрыв пласта по каждой дегазационной скважине. Узловым устройством при таком методе повышения эффективности дегазации является пакер различных типов [9] для герметизации интервала скважины и нагнетания в него жидкости под давлением, достаточным для ее внедрения в трещинную систему пласта и развития этой системы на значительное расстояние от скважины. Затем нагнетание прекращается, пакер перемещается на другой интервал скважины и процесс повторяется. После обработки по всей длине скважины и вытеснения жидкости из пласта внутрискважинным давлением газа получаем развитую сеть фильтрационных каналов и значительную площадь обнажения межтрещинных блоков газоносного угля с соответствующим ростом дебита метана в скважину.

Пакеры представляют собой цилиндрические устройства определенного диаметра и длины, уплотнительные элементы которых имеют небольшие коэффициенты расширения. Для перемещения пакера скважина должна иметь соответствующие диаметр и просвет (кривизну).

Минимальный диаметр определяется необходимым зазором между пакером в транспортном положении и скважиной, а максимальный – коэффициентом расширения уплотнительных элементов пакера. Патентный поиск по угледобывающим странам мира показал, что величина этого коэффициента близка к 1,2. Так, например, для скважин типичным диаметром 76 мм и пакера диаметром 72 мм при диаметральном зазоре 4 мм диаметр скважины по всей длине должен составлять 76–86 мм. А учитывая обязательность придавливания уплотнительных элементов к поверхности скважины и наличие в ней небольших каверн – 76–82 мм. При этом

если длина жесткого цилиндра пакера равна 1 м, то просвет скважины должен быть не менее 73 мм/м.

Пример показывает, что неотъемлемым элементом технологии поинтервального гидроразрыва пласта является высокое качество бурения дегазационных скважин.

Шахтными наблюдениями установлено, что серийные буровые коронки для бурения скважин проектным диаметром 76 мм (рис. 2) имеют диаметр резания, равный 82 мм, но по пробуренной и промытой скважине невозможно переместить пакер диаметром 74 мм.



Рисунок 2 – Серийная буровая коронка после изменения диаметра резания и углов заточки резцов

Основной причиной такого несоответствия является очень большое радиальное биение коронки, которая опирается на короткий забурник и подается на забой длинным упругим стержнем (буровым ставом). Для его устранения и обеспечения диаметра скважины, равного 78 мм, серийной буровой коронкой оказалось достаточным уменьшить ее диаметр резания до 76 мм, изменить углы заточки резцов и приварить упорные вкладыши на передовую штангу (рис. 3). С целью исключения зажима штанги скважиной, деформируемой горным давлением, при подъеме бурового инструмента на двух последних вкладышах приварены обратные режущие напайки.



Рисунок 3 – Стабилизатор-расширитель, разработанный сотрудниками лаборатории газодинамики угольных месторождений ИУ СО РАН

Шахтными испытаниями установлено (табл.), что в пределах видимости (около 15 м) ось скважины прямолинейна, а ее диаметр выдержан. Диаметр скважины, замеренный щупом, составил 78–80 мм. Отметим, что первые шесть метров щуп проходил с усилием, последующие – более свободно. Подача осуществлялась вручную.

Как видно из таблицы, на протяжении первых шести метров скважина имела диаметр меньший, чем на остальных девяти, несмотря на то, что было получено больше штыба. Это несоответствие говорит о необходимости тщательной промывки скважины по мере увеличения ее длины до и после бурения контрольного интервала для определения диаметра по объему выбуренного угля. Причем погрешность уменьшится, если длина этого интервала будет равна не одной, а 3–5 штангам.

На основании проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что серийный буровой инструмент, доработанный до условий, необходимых при бурении скважин гидрораз-

рыва, обеспечивает качество, достаточное для перемещения и герметизации интервалов паке-ром с жестким цилиндром длиной 1–1,5 м, диаметром 74 мм и коэффициентом расширения манжет 1,2.

Непродолжительная промывка скважины после окончания бурения, обеспечивает удаление буровой мелочи, достаточное для перемещения по скважине щупа даже близкого ей диаметра.

Обеспечение качества бурения скважин создает основу разработок технологии поинтервального гидроразрыва угольных пластов через дегазационные скважины для повышения их продуктивности.

Таблица – Диаметр скважины на разном удалении от ее устья

Номер штанги	Время бурения, мин.	Диаметр скважины, замеренный щупом, мм	Объем выбуренного штыба, дм ³	Диаметр скважины по объему выбуренного угля при различных коэффициентах разрыхления (K_p), дм ³	
				$K_p = 1,4$	$K_p = 1,3$
2	3,1	78	12	83	88
4	2,9	78	12	83	88
6	2,1	Более 78	13	89	92
8	2,2	Более 78	9	77	79
9	2,5	Более 78	10	78	81

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шинкевич, М. В. Повышение эффективности дегазации разрабатываемого пласта / М. В. Шинкевич., Н. Ю. Назаров // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение «Метан». – 2006. – С. 237–243.
2. Полевщиков, Г. Я. Основы эффективной разработки углеметановых месторождений Кузбасса / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич, О. В. Брюзгина // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2011. – № 3. – С. 8–11.
3. Полевщиков, Г. Я. Повышение эффективности комплексного управления газовой выделением на выемочном участке шахты / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2012. – № 2. – С. 20–27.
4. Дегазация газа из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История. Действительность. Будущее: монография / А. В. Ремезов [и др.]. – Кемерово, 2012. – 848 с.
5. 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.
6. Зыков, В. С. Современное состояние дегазации на шахтах Кузбасса / В. С. Зыков, С. М. Авраменко, В. А. Кулинич // Безопасность угольных предприятий : сб. науч. тр. ВостНИИ. – Кемерово, 2000. – С. 3–8.
7. Родин, Р. И., Альков В. И. Анализ продуктивности дегазационных скважин / Р. И. Родин, В. И. Альков // Горняцкая смена : сб. науч. тр. ИГД СО РАН. – Новосибирск, 2013. – С. 95–98.
8. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт (РД-15-09-2006) / колл. авт. – М. : Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2007. – 256 с. – (Серия 05. Выпуск 14).
9. Пат. 76387 Российская Федерация, МПК E21C39/00. Устройство для гидроразрыва скважин / Клишин В. И., Кокоулин Д. И., Фокин Ю. С.; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН. – 2008117071/22; заявл. 29.04. 08; опубл. 20.09. 08.

DOWN HOLE FOR INTERVAL HYDRAULIC
FRACTURING

V. I. Alkov

The issues of methane accumulation in rock mass above the mined longwall faces and conditions of methane appearance in the mined longwall faces are considered.

Key words: COAL SEAM, GAS CONTENT, DEGASSING, DOWN HOLE, INTERVAL HYDRAULIC FRACTURING, PACKER, DIAMETER, AIR GAP, DRILLING BIT, REAMER-STABILIZER

Альков Виталий Исхакович

e-mail: hydraulicfracturing@yandex.ru

Места и объемы отбора проб устанавливались следующим образом:

- отложившаяся угольная пыль в 50 м от забоя (комбайна) по ходу движения вентиляционной струи массой 200–300 г;
- отложившаяся угольная пыль в 250–300 м от забоя по ходу движения вентиляционной струи массой 200–300 г;
- отложившаяся угольная пыль в 450–500 м от забоя по ходу движения вентиляционной струи массой 200–300 г;
- проба разрушенного угля из-под комбайна массой 2–3 кг;
- пластовая проба угля массой 5–10 кг.

Каждую пластовую пробу делили на части, одну из которых направляли на определение влажности по ГОСТ Р 52911-2008 «Методы определения общей влаги» [2], вторую пробу массой 200–300 г разрушали в приборе определения крепости (ПОК) и просеивали через сито с сеткой № 05.

Определение гранулометрического состава образцов углей крупностью +0,1 мм проводили ситовым методом по ГОСТ 2093-82 «Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава» [3], крупностью менее 0,1 мм – лазерным методом на дифракционном микроанализаторе размера частиц «Analyzette 22 COMPACT».

Перед рассевом путем многократной сушки при $t = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ и взвешивания на электронных весах специального класса точности BP221S пробу угля доводили до постоянного веса. Рассев в течение 25 мин. проводили на встряхивателе ВП-С/220, состоящем из набора 5 стандартных сит (диаметром 200 мм и высотой 50 мм) с номерами сеток: 1, 075, 05, 0315, 02 и 01. Затем сетку каждого сита подвергали контрольному ручному рассеву в течение 1 мин. Полученные классы крупности раздельно взвешивали и определяли их выход. Результаты вычислений округляли до первого десятичного знака.

Распределения размеров частиц угля класса крупностью менее 0,1 мм, прошедших через набор сит и собранных в поддоне, осуществляли на приборе «Analyzette 22 COMPACT», использующем физический принцип дифракции электромагнитных волн, при котором параллельный свет лазера рассеивается под фиксированными пространственными углами, зависящими от размера и оптических свойств частиц. Линзы фокусируют рассеянный концентрический

свет на фокусную плоскость, где детектор измеряет спектр Фурье (распределение световой энергии). Программное обеспечение позволяет вычислять распределение размеров частиц с помощью комплекса математических методов в соответствии с теорией Фраунгофера. Основным устройством прибора является измерительный блок, который содержит лазер (длина волны равна 635 нм, мощность < 1 мВ), многоэлементный детектор, состоящий из 31 ячейки, ванну из нержавеющей стали для проб, измерительную ячейку, соединенную с ванной гибкими шлангами и установленную на перемешивающее устройство, позволяющее ячейке перемещаться в оба крайних положения. Ванна снабжена ультразвуком, механической мешалкой и центробежным насосом для высокой скорости потока измеряемой суспензии в измерительную ячейку и обратно.

Перед измерением гранулометрических характеристик порошка угля с целью предотвращения образования агрегатов его частиц под влиянием молекулярного взаимодействия и электростатических сил навеску порошка смачивали этиловым спиртом и добавляли 1–2 мл раствора пиррофосфата натрия. Навеска измеряемого образца задавалась с учетом плотности светового луча и регистрировалась на табло прибора в пределах 7–10 %.

Прибор «Analyzette 22 COMPACT» отъюстирован на заводе-изготовителе, протестирован с помощью калибровочной системы ASTM и соответствует требованиям DIN EN ISO 900; регулярно проверяется с помощью внутреннего стандартного испытательного порошка фирмы Fritsch № 648025, а также калибровочного материала BCR № 69. Порошки сертифицированы.

В соответствии с приведенной методикой были отобраны более 200 проб отложившейся угольной пыли на исходящих очистных и подготовительных забоев, а также пластовые пробы и пробы разрушенного угля из-под комбайна в каждом обследуемом забое. После предварительной обработки и маркировки пробы отправлялись на анализ дисперсного состава в лабораторию Института проблем комплексного освоения недр Российской Академии наук (ИПКОН РАН) под руководством доктора технических наук, профессора В. В. Кудряшова.

Результаты исследований показали, что выход фракций пыли различного диаметра для каждой марки угля имеет специфические закономерности. Коротко приведем некоторые данные, полученные в результате обработки проб (табл.).

Таблица – Дисперсный состав отложившейся угольной пыли

№ п/п	Шахта, выработка	Марка угля	Максимальный размер частиц, мкм (1), весовая доля фракции, % (2), суммарная весовая доля фракций, % (3), в пробах														
			ПОК			Из-под комбайна			50 м от комбайна			300 м от комбайна			500 м от комбайна		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Колмогоровская-2, к/ш 6	ДВ	37 71	5,87 7,77	48,7 87,2	36 71	5,8 7,3	49,7 87,4	33 64	6,6 5,5	51,4 85,4	29	6,03	62,8	33	5,94	69,5
2	Разрез Инской, к/ш 601	ДГ	36 72	5,2 10,8	36,8 80	33 64	4,8 5,2	59,3 88,1	33	5,7	80,2	33	5,74	74,5	15	4,82	62,3
3	Шахта № 7, путевой ствол	ДГ	36 71	5,2 9,7	41,6 82,8	33 64	5,3 4,7	61 90,6	36 72	4,9 9,3	45,3 83,4	26	5,85	65,1	26	6,78	75,7
4	Котинская, диагональный просек № 12	ДГ	36	6,4	49,4	72	8,2	79,8	41 72	5,1 5,8	45,5 72,6	37	6,87	60,6	37 64	6,2 5,85	56,4 85,5
5	Котинская, к/ш 52-08	ДГ	40 89-	4,7 6,5	37 75,2	64	5,1	71,7	33	7,2	63,8	26	9,61	80,4	29	7,61	70,8
6	Октябрьская, осевой штрек	ДГВ	41 63,9	6,1 7,1	51,1 77,2	41 57	6,8 7,1	61,3 82,1	41	7,5	64	37	9,1	66,7	41	7,33	62,8
7	Листвяжная магистральный в/ш "Юг"	Д	36 89	5,21 6,33	38,3 80,6	37 80	5,72 5,33	46 80,3	37	7,6	64,6	33	7,02	55,2	14(15)	5,14	73,3
8	Грамотейнская, конвейерный штрек 650	Д	57	7,96	71,3	51	7,49	73,3	41(46)	6,23	72,9 (79,1)	41	5,87	71,3	41	6,27	78,8
9	Листвяжная, вентиляционный штрек № 1118 Бис	Д	46	6,85	65,9	46	6,87	72,6	46	7,71	69,4	29	9,46	75,2	29	8,99	71,4
10	Байкаймская, сбочная печь № 13	ДГ	64	7,38	57,3	46	6,07	73,2	46	7,41	76,8	51	6,72	71,1	51	7,05	76,3
11	Байкаймская, конвейерный штрек № 12	ДГ	64	8,05	69,2	46	6,14	73,6	51	6,94	76,8	57	6,56	76,1	51	6,78	75,1

Продолжение табл.

№ п/п	Шахта, выработка	Марка угля	Максимальный размер частиц, мкм (1), весовая доля фракции, % (2), суммарная весовая доля фракций, % (3), в пробах														
			ПОК			Из-под комбайна			50 м от комбайна			300 м от комбайна			500 м от комбайна		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12	Октябрьская, лава 9102	ДГВ	33 71	5,74 7,14	44,5 86,7	37 71	5,09 6,45	59 95,8	30	8,59	67,5	33 71	5,21 6,45	51,1 88,7	29 63	4,62 4,06	58,1 86,7
13	Колмогоровская-2, лава 4	ДВ	37 71	6,11 8,55	44,5 84,4	37 57	5,95 6,24	60,5 84,3	37 64	6,11 7,21	49,7 80,6	24	5,02	77,7	29	5,15	75,4
14	Средняя	Д	41 71	5,74 7,32	46,3 79,6	57	5,89	78,9	41	6,26	65,9	37	5,91	72,1	33	5,98	67
15	Заречная, в/ш 1108	Г	33 71	5,61 8,44	40,5 84,1	37 51	5,39 4,78	64,5 79,6	24	5,75	72,8	21(24)	4,42	72,1 (76,5)			
16	Заречная, к/ш 1101	Г	37 71	5,53 8,92	45,7 84	37 71	4,93 10,12	34,4 76	29	4,82	65,5	37(41) 64	5,04 5,48	61,5 (66,5) 87,4			
17	Заречная, к/ш 1102	Г	37 71	5,85 7,6	46,4 82	37 64	6,05 6,92	57,1 88,4	29	7,4	71,1						
18	Им.7 ноября, к/ш 13802	1ГВ	37 71	4,85 9,86	36,6 75,7	37 57	6,26 5,7	63,8 87,5	37	8,56	70,3	33	9,9	76,1	33	6,87	65,2
19	Польсаевская, в/ш 186	Г	37 64	5,88 7,66	52 85,1	33	5,99	64,6	33	8,61	74,8	27	5,81	61,6			
20	Польсаевская, в/ш 1747	Г	41(46)	8,85	60,3 (69,2)	51	5,82	75,1	37	6,33	63,3	33	7,45	69,8	33	6	70,4
21	Польсаевская, к/ш 18-4	Г	51	8,28	77,6	37 64	6,18 6,14	56,4 86,8	33	6,76	59,1	33	5,61	55,8	17	6,14	65,1
22	Заречная, лава 1309	Г1ГВ	37 51(57)	6,85 6,38	60,7 80,2 (86,6)	57	6,74	86,7	21	6,99	64,6	21	6,44	69,2	12	4,58	58,5
23	Польсаевская, лава 18-10	Г	37 71	4,7 6,97	32,4 67,5	37	5,58	65	33	7,41	74,2	24	7,06	65,4	15	6,11	65,1

Продолжение табл.

№ п/п	Шахта, выработка	Марка угля	Максимальный размер частиц, мкм (1), весовая доля фракции, % (2), суммарная весовая доля фракций, % (3), в пробах														
			ПОК			Из-под комбайна			50 м от комбайна			300 м от комбайна			500 м от комбайна		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
24	Комсомолец, лава 1741	Г	37	6,3	69	37	5,14	33,5	37	7,03	65,6	29	5,72	74,9	5(6)	0,94	14,4
			89		78,1	89	7,24	78,1							37	5,34	52
25	Польсаевская, лава 18-8	Г	37	5,35	44,1	37	5,58	62,5	33	7,44	59,5	33	6,9	57,7	29	7,71	71,6
			80	5,68	78,8												
26	Средняя	Г	41	6,25	52,7	37	5,68	57,9	33	6,65	69,9	33	6,18	70	29	5,42	70,8
			64	7,64	79,3	64	5,86	85,9									
27	Большевик, в/ш 3052	ГЖ	33	5,79	46,9	37	4,39	58,1	37	5,6	52,3	37	4,31	42,6	37	4,86	49,7
			71	7,11	87,8	64	5,6	82,8	64	8,07	84,8	71	8,74	77,5	71	8,01	85,1
28	Большевик, в/ш 3051	ГЖ	46	8,84	71,4	37	7,59	78,2	37	4,76	47,6	33	4,74	44	37	6,17	59,7
									71	8,03	82,2	71	8,14	84,6	64	6,57	91
29	Большевик к/ш 30-51	ГЖ	37	7,75	79,4	37	7,75	79,4	37	5,97	48,3	41	6,14	59,3	37	6,18	58,3
									64	7,83	77,1	64	7,83	93,9	64	6,55	89,1
30	Юбилейная в/ш 50-12	ГЖ	41	4,69	37,2	37(41)	4,83	56,7	51	4,44	86,8	24	4,58	79,5	6,2	3,2	43,2
			89	6,59	76,4	57	4,75	(61,6) 75,8									
31	Юбилейная, к/ш 50-25	ГЖ	41	4,49	33,9	29	4,45	66,1	57	4,35	84,1	37	4,92	68,9	57	4,35	88,5
			80	8,16	72,4												
32	Чертинская-коковская, лава 347б	Ж	37	7,6	72,9	37	7,48	57,4	33	5,16	70,2	33	5,58	72,5			
33	Антоновская, лава № 29-23 бис	ГЖ	37	6,18	56,9	37	7,48	60,1	33	5,21	56,8	33	5,58	60,1	37	7,48	70,5
			71	5,97	93,3				64	5,6	88	57	4,88	85,6			
34	Средняя	Ж	41	6,01	52,2	37	5,75	69,4	37	4,95	57,2	33	4,6	57	37	4,6	65,8
			64	6,2	72,6	64	6,19	83,9	64	6,19	83,9	71	5,4	90	64	5,18	89,4
35	Распадская-коковская, к/ш 052б	КО	29	5,98	65,1	37	5,4	67	33	6,67	76,1	37	4,48	77	26	5,45	69,9

Окончание табл.

№ п/п	Шахта, выработка	Марка угля	Максимальный размер частиц, мкм (1), весовая доля фракции, % (2), суммарная весовая доля фракций, % (3), в пробах														
			ПОК			Из-под комбайна			50 м от комбайна			300 м от комбайна			500 м от комбайна		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
36	Южная, фланговая монтажная пень	КО	33	6,24	78,7	33	5,01	70,3	33	7,81	64,1	26	4,77	66,6	33	5,01	69,9
37	Южная, к/ш 7в	КО	37	5,45	66,7	33	5,86	61	30	7,63	58	29	7,66	69,7	33	4,63	70
38	Им. Ленина, в/ш 0-6-1-3 бис	К, КО	37 64	5,82 6,72	58,6 88,3	33	6,22	72,7	33	6,26	70,6	33	5,06	71,4			
39	Анжерская Южная наклонный конвейерный ствол	КС	37 71	5,58 5,19	46,5 76,9	37	5,27	60,9	41	5,44	64	37	5,95	61,8	21	7,08	63,1
40	Алардинская, главный вентиляционный штрек	КС	33(37)	5,21	54,2 (59,4)	33	5,32	62,2	41	5,61	65	37	5,9	60,4	37	6,17	67,3
41	Шахта № 12, в/ш с квершлага 4	ССТ	33 64	5,58 4,76	53,3 82,4	33	6,87	66,8	12	5,45	62,9	12	5,69	63,7	12	5,55	63,6
42	Алардинская, газодренажный штрек 611	ТС	33	6,17	50,9	33	5,93	49,4	37	7,31	56,8	21	6,05	73,3	37	6,6	68,6
43	Владимирская, лава № 8	К	41	8,89	76,1	3,2 37	1,97 4,33	17,7 81,2	37	7,3	71	41	7,08	72,2	41	6,85	79,1
44	Средняя	К	33	5,67	57,9	33	5,84	62,5	33	5,95	66,1	29	4,92	69,9	29	5,03	70,1

Марка Д

Характер распределения дисперсного состава проб из-под комбайна и ПОК бимодальный: максимум весовой доли наблюдается для частиц размером 41 мкм (6,3 и 5,8 % соответственно) и 57 мкм в пробах из-под комбайна (5,9 %), а также 65 мкм в пробах ПОК (7,3 %). При этом суммарная весовая доля фракций частиц до 41 мкм в пробах из-под комбайна составляет 61 %, до 57 мкм – 79 %, в пробах ПОК 46 % (до 41 мкм) и 74 % (до 65 мкм) соответственно (рис. 1).

Характер распределения меняется и имеет только одну моду с расстояния 50 м от забоя: максимум весовой доли в 50 м от комбайна приходится на частицы размером 42 мкм (6,3 %), в 300 и 500 м от забоя – для размеров частиц 33 мкм (6,3 и 6,0 % соответственно). Суммарная весовая доля фракций в пробах пыли, отобранных на расстоянии 50 (диапазон размеров частиц составляет 0–42 мкм), 300 и 500 м (диапазон размеров частиц – 0–33 мкм) от забоя, составляет 67 %.

Содержание тонких фракций (до 10 мкм) в пробах из-под комбайна равно 17 %, для остальных точек – 18–23 %.

Марка Г

Характер распределения дисперсного состава проб из-под комбайна и ПОК бимодальный: максимум весовой доли наблюдается для частиц размером 35 мкм (5,7 и 6,2 % соответственно) и 63 мкм (5,8 и 7,7 % соответственно). При этом суммарная весовая доля фракций до 35 мкм в пробах из-под комбайна составляет

65 %, до 63 мкм – 84 %, в пробах ПОК 45 и 78 % соответственно (рис. 2).

Характер распределения меняется и имеет только одну моду с расстояния 50 м от забоя: максимум весовой доли в 50 и 300 м от забоя наблюдается для частиц размером 33 мкм (6,7 и 6,2 % соответственно). С дальнейшим увеличением расстояния от забоя максимум распределения сдвигается в сторону уменьшения размера частиц – 28–29 мкм (5,4 %). Суммарная весовая доля фракций для расстояний 50, 300 (диапазон размеров частиц составляет 0–33 мкм) и 500 м (диапазон – 0–29 мкм) составляет 70 %.

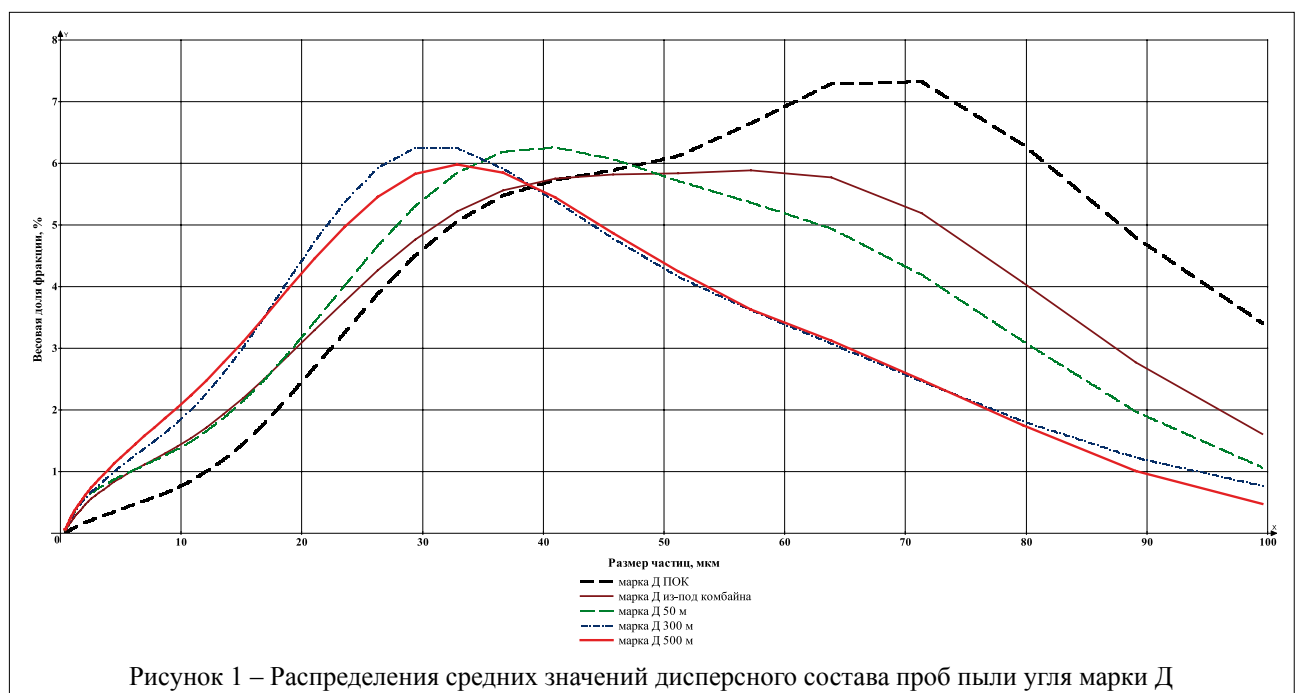
Содержание тонких фракций (до 10 мкм) в пробах из-под комбайна равно 15 %, для остальных точек – 23–8 %.

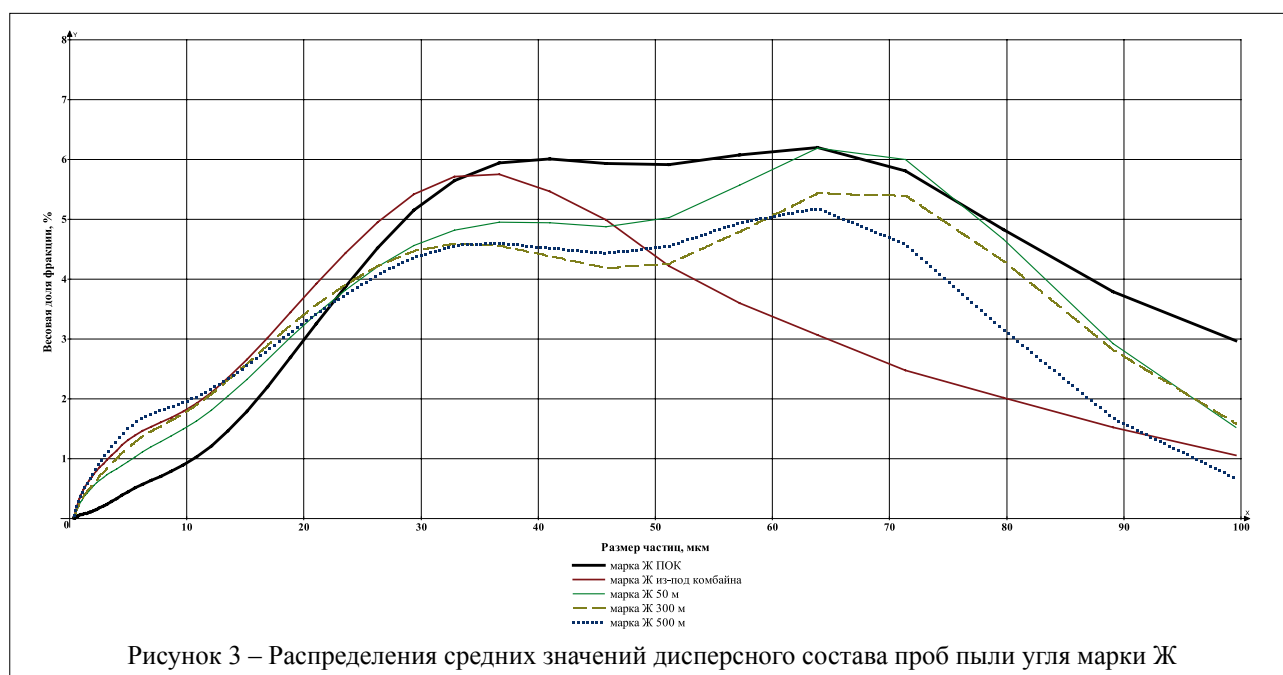
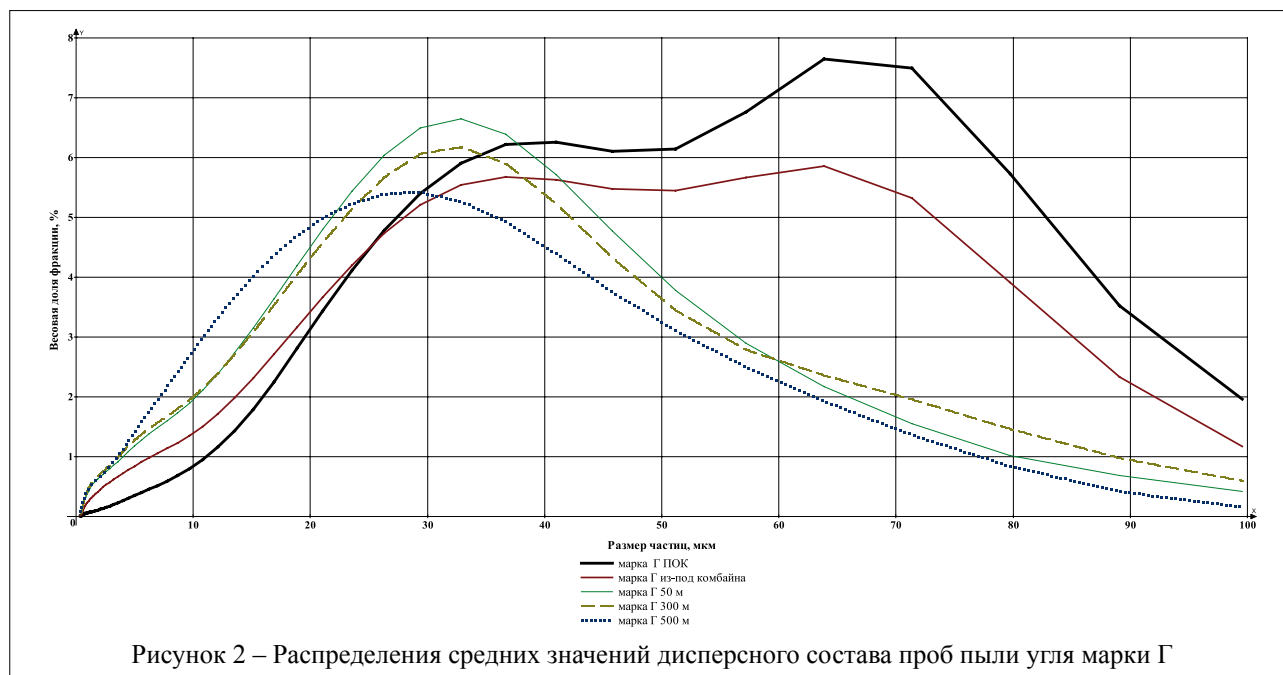
Содержание частиц размером более 50 мкм с удалением от забоя на 50 м и далее – менее 10 %.

Марка Ж

Характер распределения дисперсного состава всех проб, кроме отобранной из-под комбайна, бимодальный. При этом максимумы распределения первой и второй моды совпадают во всех пробах. Кроме того, максимум одномодального распределения пробы из-под комбайна совпадает с первой модой остальных проб и приходится на размер частиц 37 мкм: 5,9, 5,7 и 4,9 % соответственно для проб ПОК, из-под комбайна, на расстоянии 50 м и 4,5 % в пробах, отобранных на расстоянии 300 и 500 м (рис. 3).

Максимум второй моды приходится на размер частиц 63–64 мкм: в пробах ПОК и на рас-





стоянии 50 м составляет 6,2 %, 300 м – 5,4 %, 500 м – 5,2 %.

Суммарная весовая доля фракций до 37 мкм в пробах ПОК равна 46 %, из-под комбайна – 70 %, 50 м – 56 %, 300 м – 62 %, 500 м – 65 %; фракций 63 мкм в пробах ПОК – 76 %, 50 и 300 м от забоя – 85 %, 500 м – 90 %.

Содержание тонких фракций (до 10 мкм) во всех пробах составляет 18–27 %.

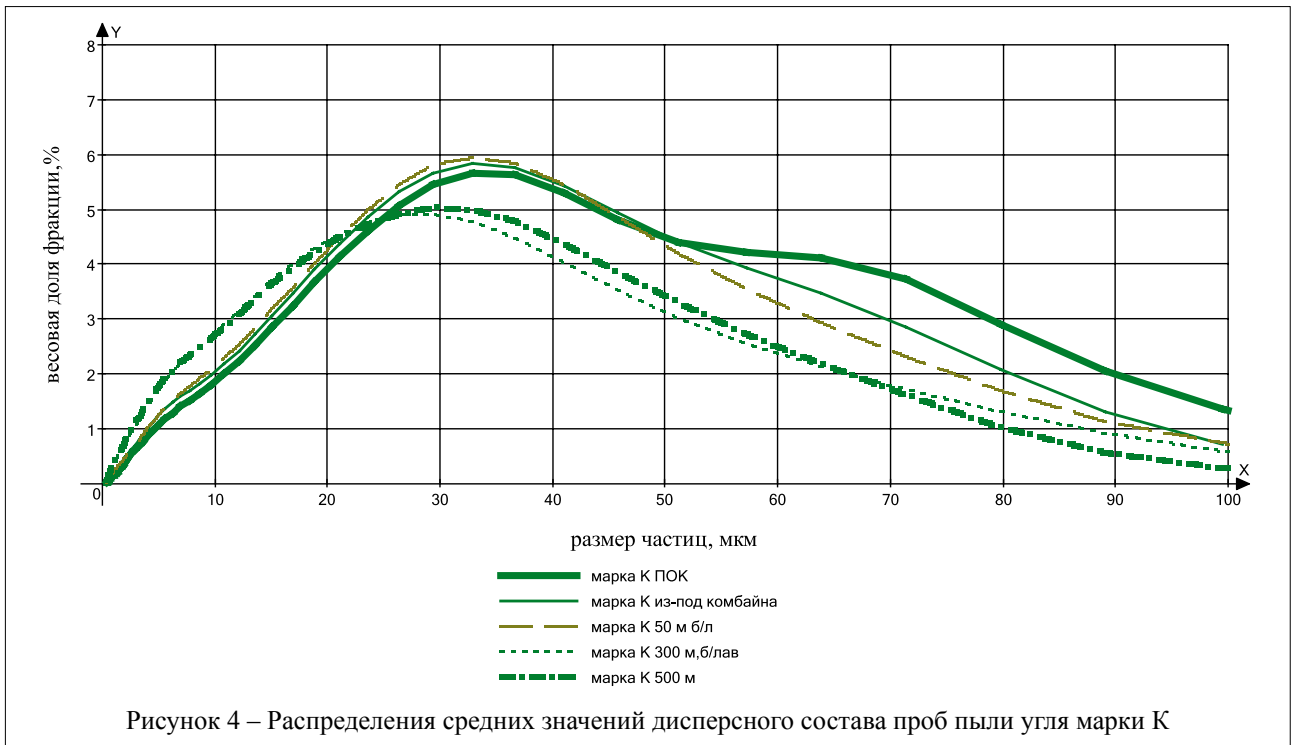
Марка К

Характер распределения дисперсного состава всех проб одномодальный. При этом в пробах ПОК, из-под комбайна и на расстоянии 50 м

максимум распределения приходится на размер частиц 33 мкм: 5,6, 5,8 и 5,9 % соответственно. Для проб, отобранных на расстоянии 300 и 500 м, максимум приходится на размер частиц 30 мкм и составляет 4,9–5,0 % (рис. 4).

Суммарная весовая доля фракций до 33 мкм в пробах ПОК равна 57 %, из-под комбайна – 63 %, на расстоянии 50 м – 67 %, фракций до 30 мкм в пробах 300 и 500 м от забоя – 70 %.

Содержание тонких фракций (до 10 мкм) в пробах ПОК, из-под комбайна и на расстоянии 50 м от забоя составляет 17–21 %, в 300 и 500 м от забоя – 30 %.



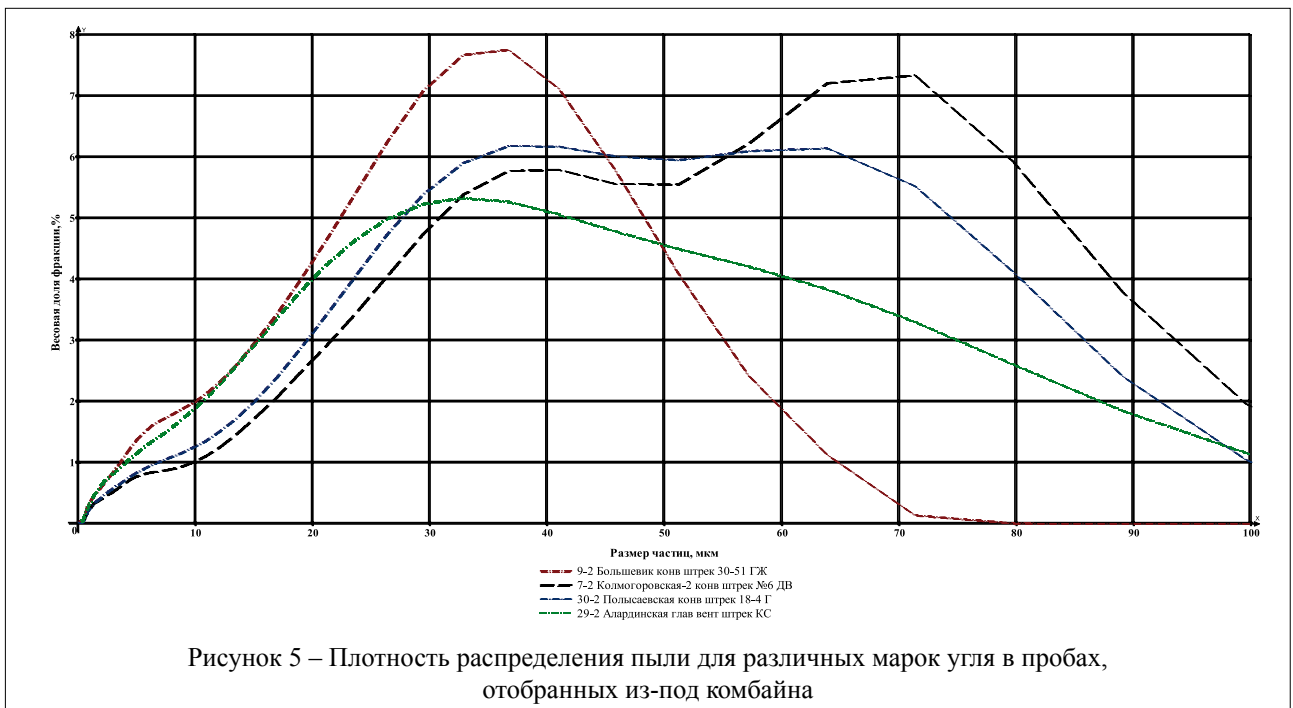
Характеристика распределений пыли в пробах, отобранных в различных местах 40 выработок шахт Кузбасса, представлена в таблице.

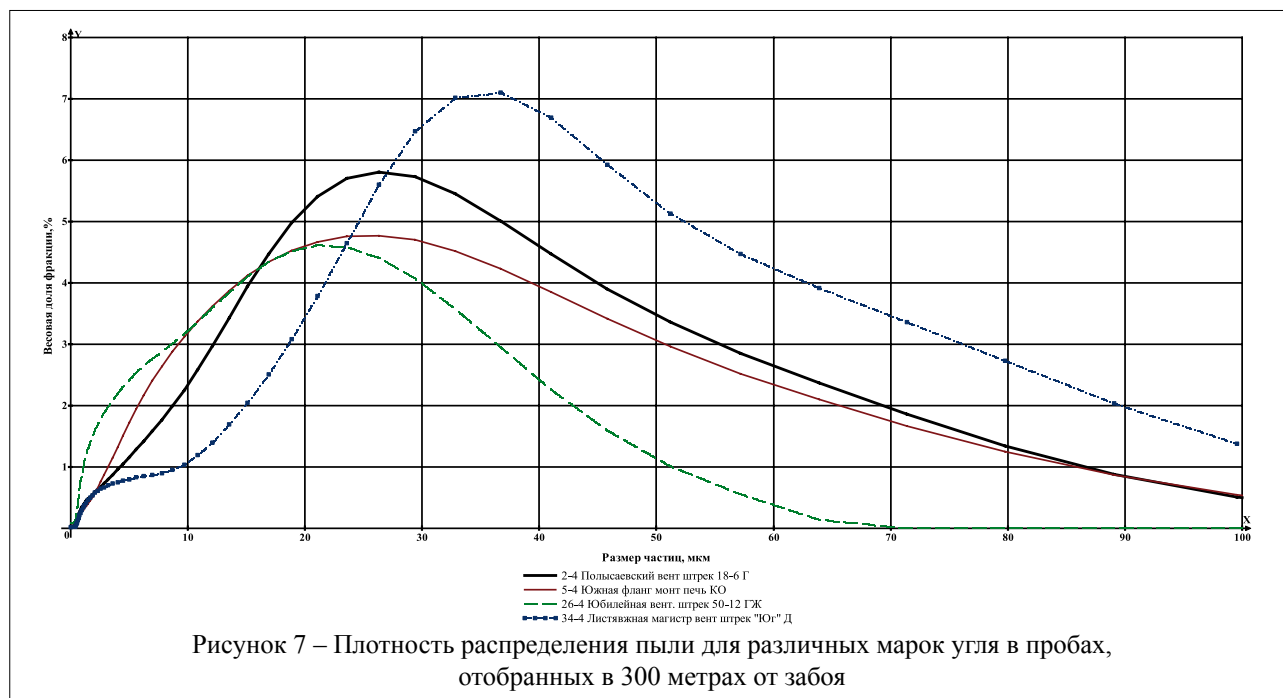
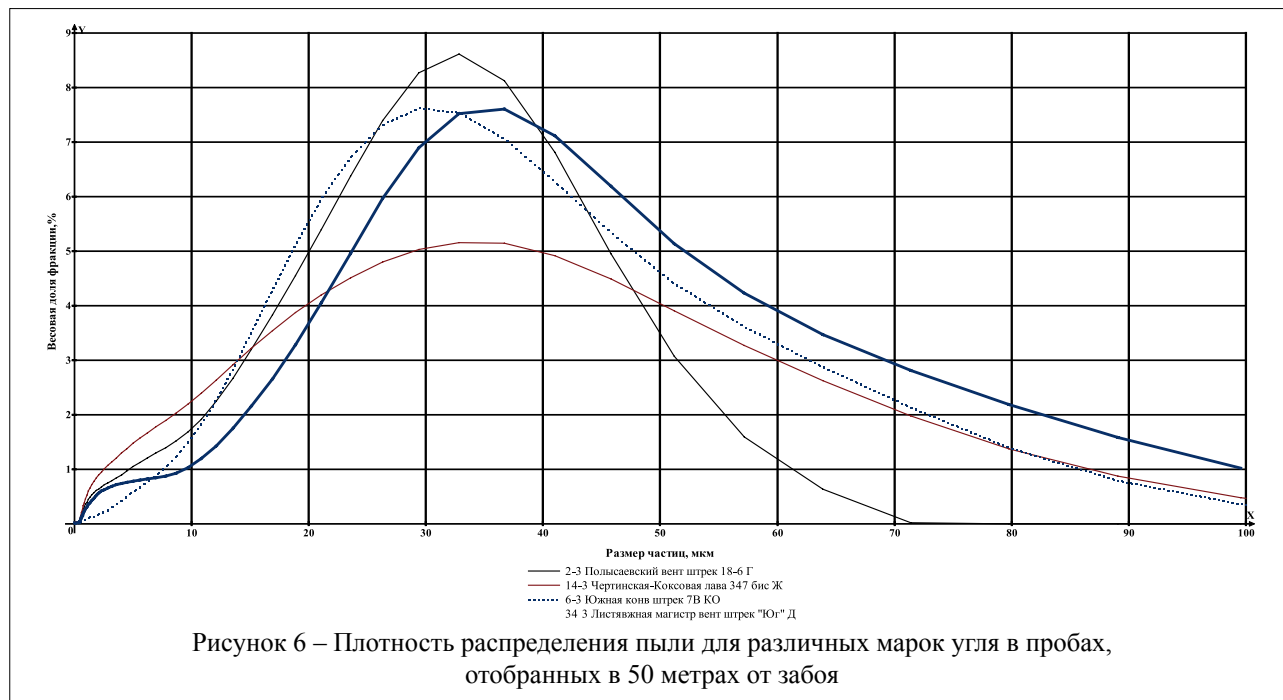
Графики плотности распределения пыли для различных марок угля в пробах, отобранных из-под комбайна, в 50, 300 и 500 м от забоя, приведены на рисунках 5–8.

Анализ значений плотности распределения дисперсного состава угольной пыли для различных марок угля в пробах, отобранных из-под

комбайна, а так же в 50, 300 и 500 метрах от забоя показывает, что дисперсный состав пыли существенно зависит от марочного состава угля. С увеличением стадии метаморфизма выход мелких фракций угольной пыли значительно увеличивается. Максимальное значение дисперсного состава смещается от низко- к высокометаморфизованным углям с 37 мкм до 29 мкм, т. е. в среднем на 25 %.

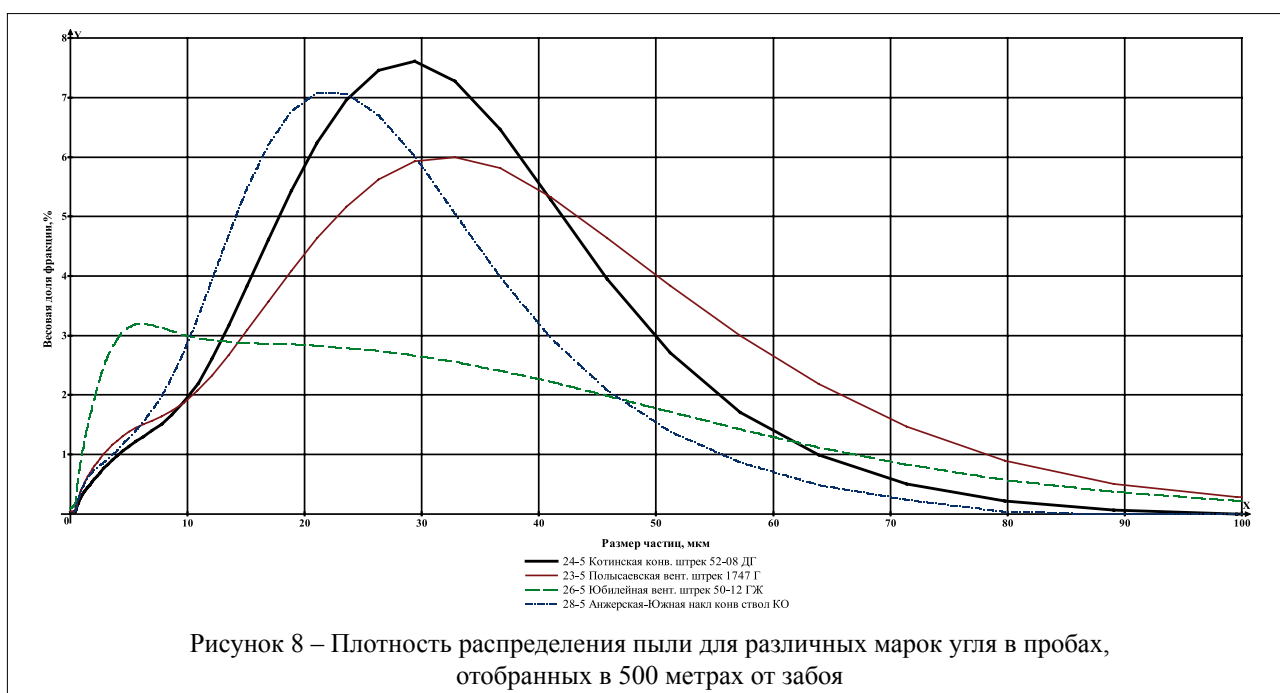
Таким образом, плотность распределения пылевых фракций при разрушении угля зависит





от марочного состава и с ростом степени метаморфизма угля сдвигается на 20–25 % в сторону увеличения выхода мелких фракций пыли для углей марок К и Ж. Это существенно повыша-

ет пылевзрывоопасность по длине выработки и требует пересмотра норм осланцевания и качества пылевзрывозащитных мероприятий.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 21153.0-75. Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний. – Режим доступа : <http://ohranatruda.ru/>
- ГОСТ Р 52911-2008. Топливо твердое минеральное. Методы определения общей влаги. – Режим доступа : <http://ohranatruda.ru/>
- ГОСТ 2093-82. Топливо твердое. Ситовой метод определения гранулометрического состава. – Режим доступа : <http://ohranatruda.ru/>

THE INVESTIGATION OF SIZE-CONSIST OF THE COAL DEPOSITED COAL DUST WITH DIFFERENT STAGES OF METAMORPHISM

D. A. Trubitsyna, D. S. Khludov

Results of researches on definition of size-consist of the deposited coal dust are given. Coals with a high coal ranging possess bigger ability to breakage. This implies that small fractions yield in deposited coal dust near the dust emission source and mine roadway network the higher, the higher the degree of coal metamorphism.

Key words: GRADE CONSTITUTION, DISPERSIVITY, DUST FRACTIONS, DUST DEPOSIT, DUST-EXPLOSION PROOFNESS OF MINE OPENING

Трубицына Дарья Анатольевна
e-mail: dtrubitsyna@me.com

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

II. ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY

А. Е. Баганина

канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник Института угля СО РАН

УДК 622.457.5

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ БЕТОННОЙ ПЕРЕМЫЧКИ ПРИ ВЗРЫВАХ В ШАХТАХ

В угольной промышленности до сих пор остается актуальной проблема безопасности ведения горных работ при потенциальной угрозе взрыва. Для защиты от ударных волн возводятся взрывоустойчивые перемычки. В работе представлена оценка эффективности способов крепления бетонных перемычек. В качестве материала в расчетах предполагался тяжелый бетон класса В15.

Ключевые слова: БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ, ВЗРЫВЫ В ШАХТАХ, УДАРНАЯ ВОЛНА, БЕТОННАЯ ПЕРЕМЫЧКА, ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА

В статье рассматривается решение задачи затухания ударной волны в бетонной защитной перемычке и выясняется влияние способов крепления перемычки на возникающие в ней опасные напряжения.

Область решения задачи представляет собой двумерный канал (рис. 1). На участках $L1 < y < L2$, $0 < x < R$ и $L3 < y < L4$, $0 < x < R$ задавались параметры взрыва и параметры бетонной перемычки соответственно, на остальных участках – параметры воздуха при нормальных атмосферных условиях. Перемычка рассматривалась в рамках модели сжимаемой идеальной упругопластической среды.

Во всей области решения динамически сопряженной задачи «газ – твердое тело» решались двумерные уравнения, выражающие законы сохранения, кинематические и физические соотношения для сжимаемой идеальной упругопластической среды, представленные в лагранжевой форме для декартовой прямоугольной системы координат (x, y) [1].

На участке $L3 < y < L4$, $0 < x < R$ в качестве уравнения состояния принималось уравнение:

$$\dot{\epsilon} \rho = -K \ln V, \quad (1)$$

где K – модуль объемного сжатия вещества;

$V = \rho_0 / \rho$ – безразмерный удельный объем;

ρ_0 / ρ – начальные и текущие значения плотности среды.

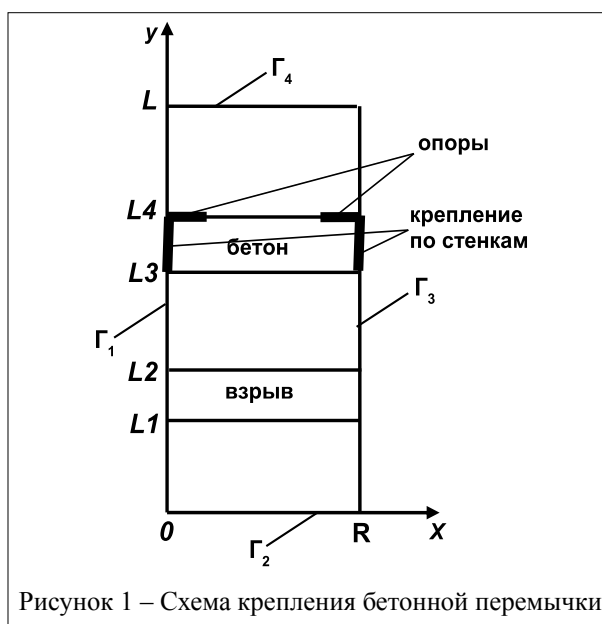


Рисунок 1 – Схема крепления бетонной перемычки

В областях $0 < y < L3$, $0 < x < R$ и $L4 < y < L$, $0 < x < R$ использовалось уравнение состояния идеального газа (2), а модуль сдвига G полагался равным нулю:

$$\rho = (k-1)\rho E, \quad (2)$$

где k – показатель адиабаты.

Начальные условия прочной среды задавались исходя из ее напряженного состояния в покоящейся атмосфере и вычислялись согласно модели односторонней деформации [2]. Поэтому при $t = 0$ производился пересчет плотности, ко-

ординат лагранжевой сетки и удельного объема. Плотность сжатой под атмосферным давлением перемычки определялась из уравнения:

$$\rho_{сж} = \rho_{обетон} \exp\left(-\frac{\sigma_{yy}}{(K + 4G/3)}\right), \quad (3)$$

где $\rho_{сж}$ – плотность сжатой под атмосферным давлением бетонной перемычки;

$\rho_{обетон}$ – начальная плотность бетона;

G – модуль сдвига бетона.

В начальный момент времени на участках области решения, занятых газом, задавались следующие условия:

$$t = 0; u_x = 0; u_y = 0; p_0 = 0,1 \text{ МПа};$$

$$p = p_{0газа}; E = p_0 / (k-1) \rho_{0газа}$$

где u_x, u_y – компоненты скорости в направлениях x, y соответственно.

На участке $L1 < y < L2, 0 < x < R$ области решения, согласно гипотезе мгновенной детонации, задавались следующие условия:

$$t = 0; u_x = 0; u_y = 0; p_0 = P_{разрыв};$$

$$p = p_{0газа}; E = p_0 / (k-1) \rho_{0газа}$$

На участке $L3 < y < L4, 0 < x < R$ принимались условия:

$$t = 0; u_x = 0; u_y = 0; p = p_{сж}; \sigma_{xy} = 0; \sigma_{yy} = -0,1 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} \frac{v}{1-v}; p = K \ln \frac{\rho_{сж}}{\rho_{обетон}}; D_{\sigma_{xx}} = \frac{2}{3} G \ln \frac{\rho_{сж}}{\rho_{обетон}};$$

$$D_{\sigma_{xx}} = -\frac{4}{3} G \ln \frac{\rho_{сж}}{\rho_{обетон}}; D_{\sigma_{zz}} = 0,$$

где v – коэффициент Пуассона;

$\rho_{обетон}$ – плотность бетона;

$\sigma_{xx} = D\sigma_{xx} - (p+q), \sigma_{yy} = D\sigma_{yy} - (p+q), \sigma_{xy} = D\sigma_{xy};$
 q – псевдовязкость.

Область решения задачи находится в пределах четырех основных границ ($\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$) (рис. 1), на первой и третьей из которых задавались в зависимости от поставленной задачи и среды. В областях, занятых газом, ставилось условие непротекания: $u_x|_{\Gamma_1, \Gamma_3} = 0$, для незакрепленной бетонной перемычки – скользящей стенки: $u_x = 0; \sigma_{xy} = 0$. Если боковые стенки перемычки были закреплены, то на них принимались условия $u_x = 0; u_y = 0$. Аналогичные условия ставились в местах крепления бетонной

перемычки в виде опоры.

Границы Γ_2 и Γ_4 неподвижны $u_y|_{\Gamma_2, \Gamma_4} = 0$.

Для решения поставленной задачи применялась разностная схема метода Уилкинса [3].

Результаты расчетов

На основе представленной выше двумерной математической постановки было проведено исследование воздействия взрыва на бетонную перемычку. В качестве материала преграды предполагался тяжелый бетон естественного твердения класса В15. Считалось, что предел прочности бетона с модулем упругости $E = 23 \text{ ГПа}$ и коэффициентом Пуассона $\sigma = 0,25$ равен 200 кг/см^2 . Начальная плотность бетона полагалась равной $\rho_0 = 2100 \text{ кг/м}^3$, а толщина перемычки – $1,5 \text{ м}$.

В расчетах учитывались три состояния бетонной перемычки: бетонная перемычка находится в свободном, незакрепленном положении; бетонная перемычка закреплена в виде опоры; бетонная перемычка закреплена по стенкам (см. рис. 1).

На рисунке 2 представлена зависимость нормального напряжения $-\sigma_{zz}$ в перемычке, закрепленной в виде опоры, от времени при $P_{взрыва} = 1,6 \text{ МПа}$ и длине участка взрыва ($L1 < y < L2$) $L_{взрыва} = 0,56 \text{ м}$. Как показывают расчеты, максимальное напряжение $-\sigma_{zz}$ начинает резко возрастать после достижения времени $T = 0,002 \text{ с}$. Это значит, что ударная волна взрыва к данному моменту времени достигла границы бетонной перемычки. К моменту времени $T = 0,0048 \text{ с}$ напряжение в бетонной перемычке достигает предела прочности материала. Таким образом, разрушение преграды, закрепленной в виде опоры, возможно при области взрыва длиной не меньше $0,56 \text{ м}$ при давлении взрыва, равном $1,6 \text{ МПа}$.

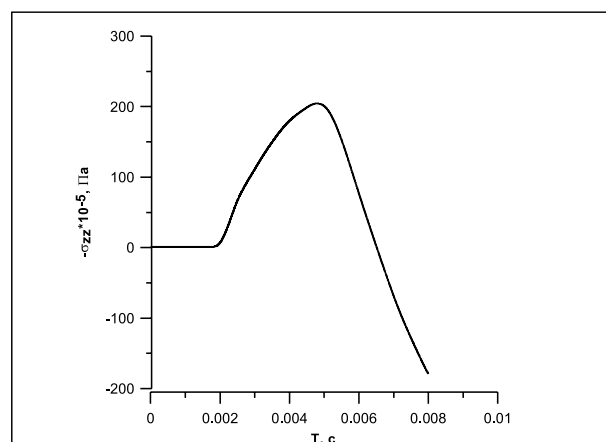


Рисунок 2 – Зависимость нормального напряжения от времени для бетонной перемычки, закрепленной в виде опоры

Аналогично было получено, что для перемычки, закрепленной по стенкам, критическое напряжение разрушения возникает при области взрыва длиной 0,44 м и давлении взрыва, составляющем 1,6 МПа.

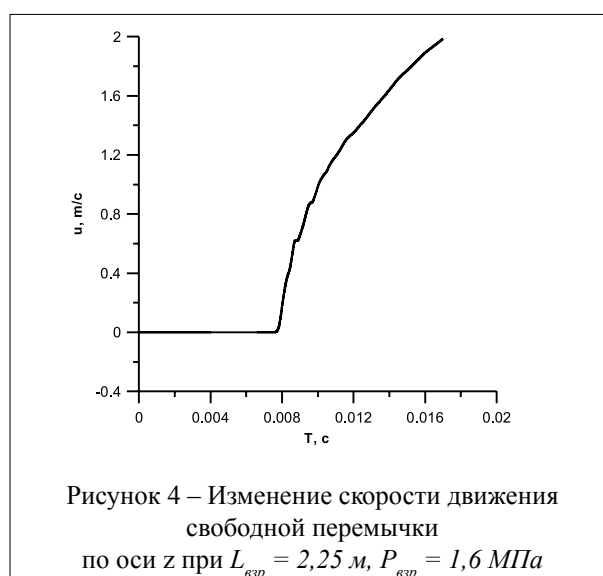
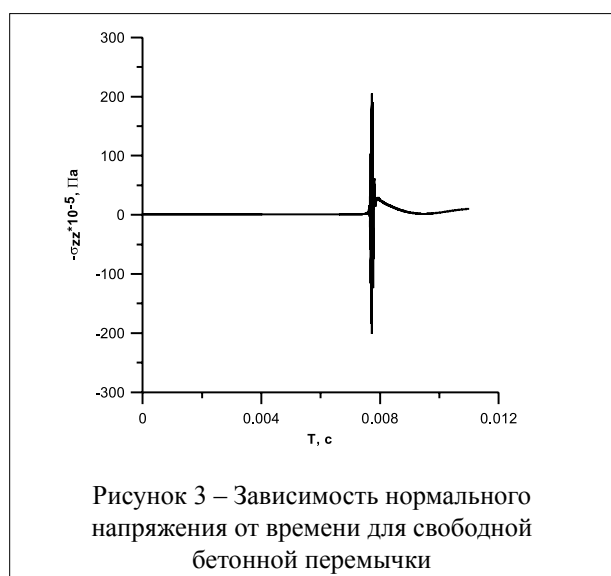
Исследование свободной, незакрепленной бетонной преграды выявило, что разрушение преграды возможно при $P_{взр} = 1,6$ МПа, $L_{взр} = 2,25$ м (рис. 3). При этом, как показано на рисунке 4, к моменту времени, когда ударная волна отразилась от преграды и движется в противоположном направлении, скорость преграды достигает 2 м/с. В качестве нулевого значения по оси z брались центральная координата границы бетонной перемычки со стороны невозмущенного газа.

Получено, что для возникновения в неза-

крепленной бетонной перемычке напряжения, равного пределу прочности, необходим взрыв почти в 4 раза больший, чем для бетонной перемычки, закрепленной в виде опоры.

Выводы

Проведена численная оценка способов крепления бетонной перемычки. Найдено, что наиболее взрывоустойчивой является перемычка, не закрепленная по стенкам. Ей уступают бетонная перемычка, закрепленная в виде опоры, и перемычка с креплением по стенкам. Показано, что перемычка, не закрепленная по стенкам, после воздействия на нее ударной волны приобретает некоторую скорость и может представлять определенную опасность.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васенин, И. М. Численное исследование прохождения ударной волны через пористый свинец / И. М. Васенин, А. Е. Петрова // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых «Неравновесные процессы в сплошных средах». – Пермь, 2009. – С. 60–63.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: в 10 т. Т. VII Теория упругости: учеб. пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 248 с.
3. Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов: учебник для вузов / А. В. Бабкин [и др.]. ; науч. ред. В. В. Селиванов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 519 с.

NUMERICAL EVALUATION OF THE FASTENING METHODS OF THE CONCRETE BULKHEAD AT EXPLOSIONS IN MINES

A. E. Baganina

In coal-mining industry the problem of operations safety with potential explosion hazard is still urgent. Blastproof bulkheads are erected for protection against shock waves. In the work the estimation fastening methods of concrete bulkheads is presented. As a material in the calculation the heavyweight concrete B15-class was assumed.

Key words: SAFETY, EMERGENCY SITUATIONS, EXPLOSIONS, MINES, SHOCK WAVE, CONCRETE BULKHEAD, NUMERICAL EVALUATION

Баганина Александра Евгеньевна
e-mail: wiserine@t-sk.ru

П. Б. Герике

канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института угля СО РАН,
доцент кафедры горных машин и комплексов ФГОУ ВПО «Куз ГТУ им. Т. Ф. Горбачева»

УДК 53.083(430.1)

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БУРОВЫХ УСТАНОВОК СЕРИИ DML ПО ПАРАМЕТРАМ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

На примере буровых установок типа DML, эксплуатирующихся в условиях угольной промышленности Кузбасса, приведено описание наиболее распространенных дефектов динамического оборудования. Дана оценка эффективности применения комплексного диагностического подхода. Обоснована и доказана необходимость перехода на систему обслуживания техники по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: ВИБРОДИАГНОСТИКА, БУРОВАЯ УСТАНОВКА, ДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

Федеральное законодательство, регламентирующее процедуру экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ ТУ ОПО) [1], большое значение уделяет техническому состоянию машин и агрегатов, эксплуатирующихся на опасных производственных объектах. В рамках проведения экспертизы и технического диагностирования учеными и специалистами ИУ СО РАН и ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева» выполнен вибродиагностический контроль ряда дизель-гидравлических буровых установок типа DML, эксплуатирующихся в условиях предприятий угольной промышленности Кузбасса.

Данная установка оснащена гидроприводом верхнего расположения и предназначена для промышленного бурения составным ставом взрывных скважин на максимальную глубину 55 м, с помощью сменных буровых штанг длиной 9,1 м. Номинальный диаметр скважин при вращательном бурении составляет 152–270 мм. Предусмотрена возможность бурения погружным пневмоударником. Для работы пневмокомпрессора и гидравлической системы используется дизельный двигатель производства Caterpillar. Буровая установка DML комплектуется асимметричным роторным винтовым компрессором компании Ingersoll Rand.

Буровая мачта в сборе оснащена вращателем с гидростатическим приводом и гидравлической системой подачи. Управление стандартной каруселью на 5 штанг осуществляется с пульта, что позволяет обеспечить безопасность и легкость выполнения операций по управлению



Рисунок 1 – Общий вид буровой установки DML

буровым ставом (рис. 1).

Среди наиболее распространенных дефектов оборудования буровых установок DML, определяемых методом вибродиагностики, необходимо выделить следующие:

- износ поршневых групп двигателей внутреннего сгорания (ДВС);
- расцентровка ДВС с компрессором;
- нарушение жесткости системы;
- износ рабочих элементов компрессора;
- ослабление посадки и различные дефекты подшипников;
- дефекты элементов соединительных муфт;
- износ элементов гидромотора вращателя;

– дефекты зубозацепления в редукторе вращателя.

От технического состояния оборудования зависят не только экономические показатели, но и безопасность работы обслуживающего персонала [2, 3]. Одними из таких технических устройств являются буровые станки – неотъемлемая составляющая современной технологии открытых разработок. Вибрационные процессы, формируемые в результате работы буровой установки, довольно сложны по своему характеру, поэтому для их анализа и интерпретации полученных результатов необходимо применение сразу группы методов вибродиагностического контроля.

Современный комплекс средств для проведения работ по вибродиагностике состоит из следующих частей: аппаратные средства измерений и вспомогательные устройства и каналы связи, программное обеспечение для обработки измерительной информации. Измерение, контроль и анализ вибрации, непосредственно в условиях угольного разреза, осуществляются при помощи переносной аппаратуры, представленной виброанализаторами и сборщиками данных, регистрирующими виброакустические сигналы в полосе частот 2–20 000 Гц, с двойным интегрированием, заданием границ частотного диапазона, с чувствительностью по виброскорости не ниже $1,0 \cdot 10^{-5}$ мм/с, энергонезависимой памятью, с возможностью вывода данных на дисплей и персональный компьютер, с максимально возможным количеством аппаратно реализованных методов обработки исходного сигнала [2].

С точки зрения анализа параметров виброакустической волны, наиболее эффективным считается применение сразу группы методов контроля по параметрам механических колебаний. Комплексный диагностический подход, как правило, включает в себя метод прямого спектрального анализа, синхронное накопление, анализ огибающей и эксцесс. Кроме того, интересные результаты обработки сигнала дает анализ вейвлет-преобразования. Именно такое сочетание методов вибродиагностики обеспечивает возможность максимально точной интерпретации полученных результатов с указанием степени развития того или иного дефекта [2], четкого формулирования рекомендаций по ремонту техники, разработки достоверных прогнозных моделей развития типовых поврежденных агрегатов буровых установок типа DML.

Так, **синхронное накопление** предусматривает использование минимум двух каналов

для измерения параметров вибрации. Как правило, определяется параметр виброперемещения и на основе полученных данных строится орбита движения, форма которой обуславливается жесткостью системы, правильностью геометрии и рядом других параметров. Такой подход к обработке сигнала как нельзя лучше подходит именно для диагностики роторных винтовых компрессоров, которыми оснащаются установки серии DML.

Преимущество метода **эксцесса**, разработанного для экспресс-диагностики подшипников качения, заключается в том, что знания геометрических параметров подшипника не требуется. Кроме того, он не чувствителен к изменениям скорости вращения вала и нагрузки. Метод позволяет достаточно точно диагностировать развитое повреждение подшипника качения, быстро дать обоснованные рекомендации по замене дефектного узла. Недостаток – невозможность определения конкретного типа дефекта.

Вейвлет анализ, в силу сложности интерпретации полученных результатов, редко применяется на объектах угольной промышленности. Эта специфическая математическая обработка позволяет выделять локальные особенности вибрационного сигнала и классифицировать их по интенсивности. Преимущество использования этого метода в том, что динамика изменения сигнала в зависимости от масштаба становится видимой, то есть появляется возможность видеть влияние мелкомасштабных деталей на крупномасштабную картину.

Выделение огибающей – встроенная функция в большинстве современных виброанализаторов. При выделении огибающей временной сигнал фильтруется с помощью полосового фильтра в области частоты, с которой связано появление диагностических признаков дефекта. Фильтрация, которая проводится на первом этапе обработки вибрационного сигнала при выделении огибающей, оставляет только высокочастотный сигнал, например, содержащий возбужденные импульсами колебания корпуса подшипника с отсутствием почти всех паразитных составляющих. Профильтрованный сигнал выпрямляется, проходит через фильтр нижних частот с частотой среза, соответствующей приблизительно половине ширины полосы пропускания фильтра. Выходной сигнал похож на исходные импульсы подшипника, но, что более важно, он дает возможность восстановления частоты повторения этих импульсов. Путем частотного (спектрального) анализа можно точно опре

делить частоту повторения импульсов. Период повторения импульсов может быть сопоставлен с одной из частот дефектов подшипника, и таким образом определен дефект подшипника. Область применения метода – преимущественно подшипники качения, однако данная обработка виброакустического сигнала может применяться для диагностики зубчатых передач, выявления лопаточных частот насоса, компрессора или турбины, фазовых частот электрических машин, а также случайной вибрации при кавитации и газодинамических процессах и т. д.

Наконец, **спектральный анализ** – основной метод вибродиагностического контроля. Различают частотный, амплитудный, фазовый спектр и спектр мощности (спектр квадратов амплитуд виброскорости). Метод считается универсальным, поскольку подходит для диагностики любых динамических агрегатов и выявления практически всех типов дефектов.

Классический частотный анализ механических колебаний позволяет обнаружить ряд выраженных частотных составляющих периодического характера, непосредственно связанных с основными движениями отдельных узлов и деталей исследуемой машины или механизма [3]. Большие возможности анализа вибрационных процессов открываются при использовании в диагностических целях динамического спектра – трехмерного представления спектральной плотности мощности в зависимости от частоты и времени. Динамическая спектрограмма, называемая также каскадным спектром, позволяет получить представление об изменении не только возмущающих сил, но и амплитудно-частотной характеристики механической системы на переходных режимах: при пуске агрегата или в режиме выбега (при уменьшении частоты вращения).

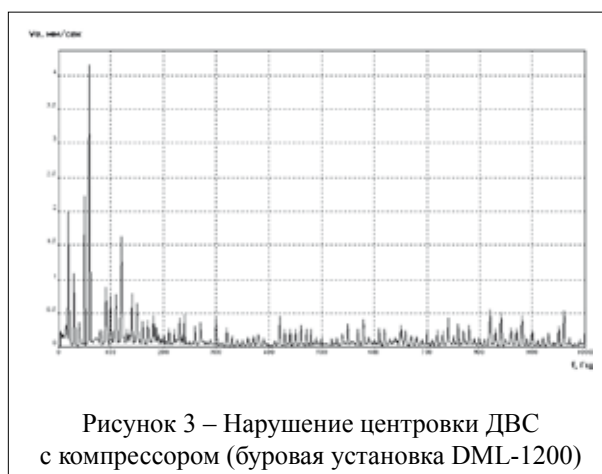
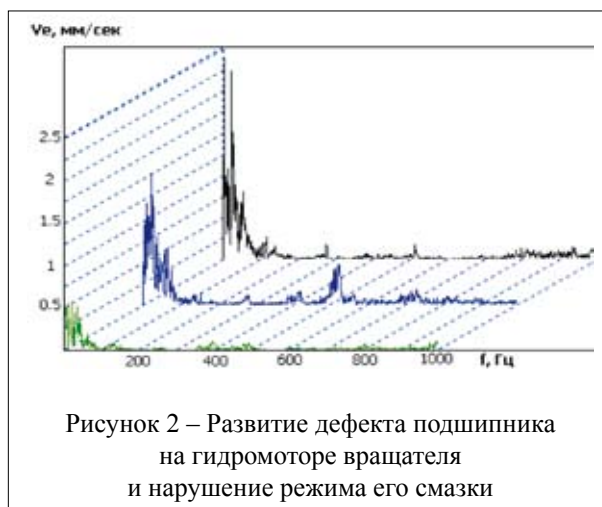
Именно комплексный подход к диагностике сложных систем позволяет избежать ограничений на область применения того или иного метода, извлечь максимальное количество полезной информации из виброакустического сигнала, сформулировать точные диагностические признаки дефектов исследуемого оборудования и критерии предельно допустимого состояния техники, наиболее точно оценить фактическое техническое состояние агрегата. Недостатки или ограничения того или иного метода нивелирует использование других типов математической обработки сигнала, поэтому при разработке диагностических критериев использование априорной информации может быть сведено к минимуму.

Приведем несколько конкретных приме-

ров распознавания дефектов агрегатов буровой установки DML при помощи методов вибрационного контроля. Рисунок 2 иллюстрирует сравнение спектров виброакустического сигнала подшипникового узла привода вращателя с периодичностью в один месяц. Наглядно виден рост амплитуды виброскорости, развитие дефекта подшипника обуславливается нарушением режима смазки. Также диагностируется повышенная вибрация на собственной частоте сепаратора (вероятен повышенный износ и коррозия). Промежуточное снижение уровня вибрации на некоторых гармониках объясняется накоплением деформаций, что временно привело к снижению общего уровня.

Одним из наиболее распространенных дефектов привода буровых установок такого типа является расцентровка дизельного двигателя с компрессором (рис. 3). Как следствие, не редко проявляются сопутствующие неисправности, вызванные нарушением соосности валов агрегата – разрушение упругих элементов соединительной муфты и дефекты конических роликовых подшипников роторного компрессора (рис. 4).

Состояние поршневых групп дизельных



двигателей буровых установок DML по параметрам вибрации на основании действующих нормативных документов часто оценивается как недопустимое. Собственники экономят на замене выработавшей свой срок силовой установки, проводя капитальные ремонты ДВС. В спектре виброакустического сигнала по параметру виброскорости (рис. 5) присутствуют гармонические составляющие, анализ которых позволил диагностировать износ деталей поршневой группы двигателя Caterpillar.

Подводя итоги сказанному, следует отметить, что предложенные диагностические подходы могут быть использованы для точного обоснования критериев предельного технического состояния узлов и агрегатов установки, а также в качестве основы для перехода на более совершенные формы технического обслуживания. Накопленные базы данных по параметрам виброакустического сигнала позволят разрабо-

тать прогностические модели развития типовых дефектов оборудования установок DML. Появится возможность для расчета остаточного ресурса машины и осуществления эффективного планирования ремонтных работ, предупреждения возникновения аварийных отказов.

Исторически сложилось, что угольная промышленность являлась и является объектом повышенной опасности [4]. Поэтому вопрос перехода на современные системы обслуживания горной техники становится крайне актуальным. На сегодняшний день учеными Кузбасса созданы все предпосылки для перехода на систему обслуживания горных машин по фактическому техническому состоянию. Предложенная схема управления техническим обслуживанием позволит безопасно и максимально эффективно эксплуатировать технику и свести к минимуму аварийные простои.

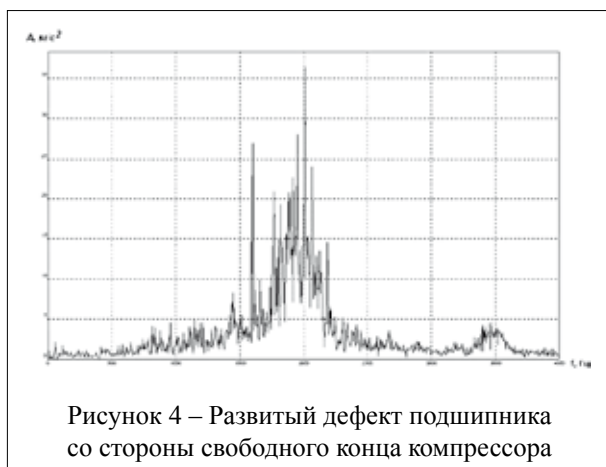


Рисунок 4 – Развитый дефект подшипника со стороны свободного конца компрессора

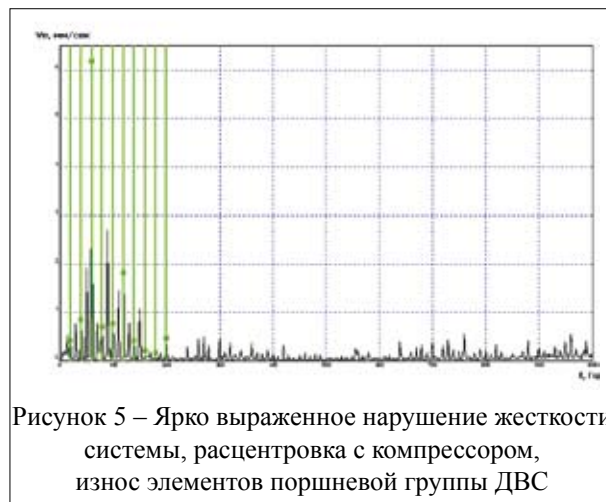


Рисунок 5 – Ярко выраженное нарушение жесткости системы, расцентровка с компрессором, износ элементов поршневой группы ДВС

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : федер. закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ // Собр. законодательства РФ. – 1997. – № 30. – Ст. 3588.
2. Герике, Б. Л. Диагностика горных машин и оборудования : учебное пособие / Б. Л. Герике, П. Б. Герике, В. С. Квагинидзе [и др.]. – Москва, 2012. – 400 с.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, [и др.] Вибродиагностика. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.: ил
4. Клишин, В. И. Монтаж, демонтаж, эксплуатация и ремонт горно-шахтного оборудования : учебное пособие / В. И. Клишин В. С. Квагинидзе, Г.И. Козовой. – Москва, 2012. – 511 с.

*THE CONDITION MONITORING OF THE
DML-SERIES DRILLING RIGS BY PARAMETERS
OF THE MECHANICAL OSCILLATIONS*

P. B. Gericke

On the example of the DML drilling rigs, operated in Kuzbass coal-mining industry, the classification of the most widespread defects of the dynamic equipment is given. The estimation of the efficiency of the integrated diagnostic approach is given. The need of changing to maintenance system on the actual technical state is substantiated and proved.

*Key words: VIBRODIAGNOSTICS,
DRILLING RIG, ROTATING EQUIPMENT,
MAINTENANCE MANAGEMENT*

*Герике Павел Борисович
e-mail: sibgp@mail.ru*

А. Н. Домрачев

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

Д. Ю. Палеев

д-р техн. наук, заведующий лабораторией Института угля СО РАН

Ю. М. Говорухин

канд. техн. наук, научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

В. Г. Криволапов

канд. техн. наук, заместитель начальника по научной работе Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

В. И. Липатин

научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

УДК 622.86:622.33:338.28

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ И МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИГР ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В ХОДЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Выполнен сравнительный анализ использования экспертных методов двойного предпочтения и методов теории игр. Установлено, что данные методы дают достаточно близкие результаты, взаимно дополняют друг друга и могут быть использованы совместно при принятии решений в ходе ведения аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ТЕОРИЯ ИГР, ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ, ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

С целью принятия решения о направлении отделений военизированной горноспасательной части для спасения людей при отсутствии полной картины происшедшего и значительном масштабе аварии могут быть использованы методы экспертной оценки и (или) теории игр. Исходя из этого, представляется актуальным выполнение сравнительного анализа данных методов на основе единого набора исходных данных. Реализация ситуации принятия решения о направлении отделений для спасения людей при взрыве позволила оценить возможности использования методов.

В рамках использования экспертных методов [1–3] широкое распространение получило ранжирование, т. е. упорядочивание однородных и сравниваемых по своим признакам понятий в порядке возрастания или убывания их предпочтительности (порядковая шкала сравнения альтернатив); если оцениваемая группа альтернатив – счетное множество $\{A_i\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, то ранг наиболее предпочтительной из них будет равен n , а сумма всех рангов от R_1 до R_n ;

$$\sum_{i=1}^n R_i = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (1)$$

если образуются группы эквивалентных объектов, то определяется ранг каждой группы R_i^G

$$R_i^G = \frac{\sum_{j=i}^{i+(k-1)} R_j}{k}, \quad (2)$$

где $j = i$ – номер 1-го объекта i -й группы объектов;

$j + (k-1)$ – номер последнего объекта i -й группы объектов;

k – число эквивалентных объектов в группе.

После ранжирования может быть выполнено парное сравнение альтернатив заданием трех функций P_{ij} :

$$\begin{aligned} P_{ij} &= 2, \text{ если } A_i > A_j; \\ P_{ij} &= 0, \text{ если } A_i < A_j; \\ P_{ij} &= 1, \text{ если } A_i = A_j; \end{aligned} \quad (3)$$

где A_i – одна из i альтернатив;
или заданием двух функций:

$$\begin{aligned} P_{ij} &= 0, \text{ если } A_i < A_j; \\ P_{ij} &= 1, \text{ если } A_i \geq A_j. \end{aligned} \quad (4)$$

Такой подход реализуется в методе двойного экспертного предпочтения, который широко использовался при проектировании сложных объектов горной промышленности. Исходная матрица рангов для принятия решения о направлении отделений может быть представлена в виде таблицы 1.

Результаты экспертной оценки приведены в итоговой булевой матрице (табл. 2). Наиболее предпочтительным признано направление трех отделений.

В терминах теории игр задача о направлении отделения (отделений) на поиск и спасение застигнутых аварией людей может быть формализована как антагонистическая (бескоалиционная) игра человека (ответственного руководителя горноспасательных работ, РГСР), который выбирает стратегии осознанно, и природы (развитие аварийной ситуации), которая выбирает

стратегии детерминировано или случайно, в соответствии с известными законами распределения (нормальным, пуассоновским и др.). Следует отметить, что игровой подход позволяет оценивать события с учетом наиболее неблагоприятного развития ситуации. Для составления платежной матрицы могут быть использованы такие показатели, как число спасенных или число пострадавших (погибших) на момент завершения реализации стратегии аварийно-спасательных работ (АСР). По мере развития АСР во времени со стороны природы могут приниматься стратегии, которые далее рассматриваются как опасные факторы: взрыв, пожар, обрушение кровли и др. Множество альтернатив при оценке риска направления отделений для спасения людей может быть представлено в виде таблицы 3.

При наличии данных в качестве n_{ce}^{ij} могут использоваться математические ожидания соответствующих величин (числа спасенных горняков, количества выведенных из строя горноспасателей или комплексного показателя на основе этих параметров). Отнесение значения к выигрышу или потере может быть задано указанием знака.

Таблица 1 – Исходная матрица ранжирования альтернатив, балл

Событие	Отделения не направлены	Решение отложено	Направлено одно отделение	Направлены два отделения	Направлены три отделения
Повторный взрыв	2	1	3	4	5
Обрушение кровли	2	1	5	4	3
Пожар	4	2	3	5	1
Непроходимый завал	5	4	2	1	3
Загазирование (более 2 %)	5	4	3	2	1
Без происшествий	5	4	3	2	1

Таблица 2 – Итоговая булева матрица экспертной оценки

Экспертное предпочтение	Оценка, балл
Отделение не направлено	1
Решение отложено	2
Направлено одно отделение	3
Направлены два отделения	4
Направлены три отделения	5

Таблица 3 – Множество альтернатив при оценке риска направления отделений горноспасателей на спасение людей при взрыве

Стратегия	Отказ от направления отделений	Направлено одно отделение	Направлены два отделения	Направлены три отделения	Примечания
Штатные спасательные работы	n_{ce}^{11}	n_{ce}^{12}	n_{ce}^{13}	n_{ce}^{14}	Значение n_{ce}^{ij} определяется расчетом или экспертными методами*
Повторный взрыв метановоздушной смеси	n_{ce}^{21}	n_{ce}^{22}	n_{ce}^{23}	n_{ce}^{24}	
Отказ респиратора	n_{ce}^{31}	n_{ce}^{32}	n_{ce}^{33}	n_{ce}^{34}	
Обрушение кровли выработки	n_{ce}^{41}	n_{ce}^{42}	n_{ce}^{43}	n_{ce}^{44}	
Непроходимый завал	n_{ce}^{51}	n_{ce}^{52}	n_{ce}^{53}	n_{ce}^{54}	
Пожар	n_{ce}^{61}	n_{ce}^{62}	n_{ce}^{63}	n_{ce}^{64}	
Загазирование (свыше 2 %)	n_{ce}^{71}	n_{ce}^{72}	n_{ce}^{73}	n_{ce}^{74}	

Такой подход позволяет сформировать набор стратегий $A_1, A_2, \dots, A_m, B_1, B_2, \dots, B_n$ и платежную матрицу $\|a_{ij}\|$. Требуется найти решение данной игры, т. е. при классическом подходе две оптимальные (смешанные) стратегии S_A^* и S_B^* , а в данном прикладном случае – одну (для руководителя горноспасательных работ).

$$S_A^* = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_m \\ p_1 & p_2 & \dots & p_m \end{pmatrix}; \quad S_B^* = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 & \dots & B_n \\ q_1 & q_2 & \dots & q_n \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $p_1 + p_2 + \dots + p_m = 1$;
 $q_1 + q_2 + \dots + q_n = 1$.

При этом оптимальная стратегия S_A^* должна обеспечивать выигрыш, не меньший цене игры (v) при любом поведении противника (природы) и выигрыш, равный v , при наиболее неблагоприятном развитии событий. В данном случае v неизвестна, но обычно предполагается, что она равна некоему положительному числу.

При введении переменной $\xi_1 = \frac{p_1}{v}$, ограничения принимают вид $[a_{ij}] \xi_1 \geq 1$, причем $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m = \frac{1}{v}$.

Таким образом, формулируется задача определить неотрицательные величины $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m$, удовлетворяющие условию $[a_{ij}] \xi_1 \geq 1$, так чтобы $\sum \xi_1$ была минимальной. С учетом двойственности задачи линейного программирования может быть сформулирована задача поиска максимума целевой функции $\sum \xi_1$,

для набора стратегий B_j при ограничениях вида $[b_{ij}] \xi_1 \leq 1$, где [3–6].

Оценка математического ожидания величины безвозвратных потерь (т. е. числа погибших) производилась путем опроса нескольких (2 и более) экспертов с вычислением среднего арифметического значения в качестве результата опроса и последующим заполнением таблицы 3. Результаты выполнения расчета с использованием специализированной программы приведены на рисунке 1.

Исходя из результатов расчета оптимальный план можно записать как $y_1 = 0,0$; $y_2 = 0,0$; $y_3 = 0,947$; $y_4 = 0,053$ при цене игры $v = 1,61$.

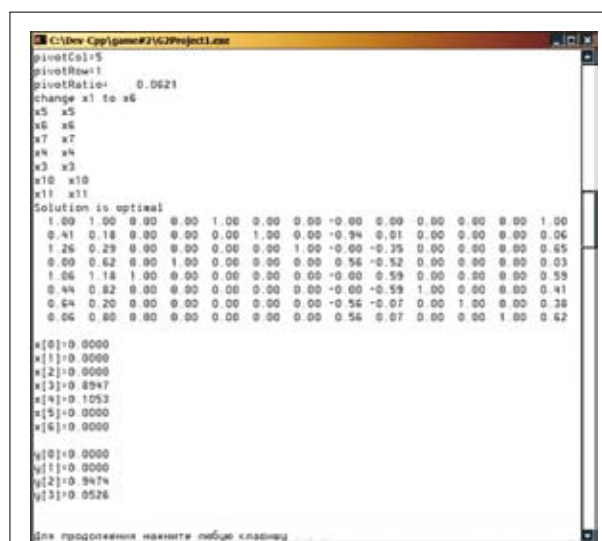


Рисунок 1 – Скриншот работы программы определения оптимальной стратегии и цены игры

Таким образом, использование теории игр указывает на предпочтительность варианта 3, т. е. направления для спасения людей **двух отделений горноспасателей**.

Выполненный сравнительный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Экспертная оценка требует больше времени на подготовку матрицы альтернатив, даже если экспертная группа готова к работе сразу после постановки задачи. Однако прямое или косвенное использование экспертных методов при заполнении платежной матрицы не дает теории игр ощутимого преимущества.

2. Методы теории игр несколько шире реализованы в виде бесплатных и условно-бесплатных программ, чем методы экспертной оценки. Однако реализация как теории игр (в виде решения задачи линейного программирования), так и двойного экспертного предпочтения возможна с использованием табличных процессоров (в том числе бесплатного OpenOffice Calc).

3. Метод двойного предпочтения дает эксперту больше возможностей для использования его потенциала, так как при составлении платежной матрицы используется только один параметр, а при ранжировании предпочтений эксперт более свободен в выборе субъективного критерия (критериев) определения ранга.

4. В выполненном сравнении метод теории игр дал более осторожную оценку ситуации и рекомендовал «промежуточное» решение, тогда как результат использования метода двойного экспертного предпочтения можно интерпретировать как рекомендацию к направлению максимально возможного числа отделений. Полученный результат является весьма интересным, так как в данной реализации стратегия РГСП ориентирована на максимальное избегание безвозвратных потерь.

5. Очевидно, что методы теории игр и экспертной оценки можно рассматривать как взаимодополняющие и по возможности рекомендовать их совместное использование при принятии решений в сложных аварийных ситуациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таунсенд, К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: пер. с англ. / К. Таунсенд, Д. Фохт; предисловие Г. С. Осипова. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 330 с.
2. Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
3. Литвак, Б. Г. Экспертные технологии в управлении / Б. Г. Литвак. – Дело, 2004. – 398 с.
4. Петросян, Л. А. Теория игр / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина. – М. : Высшая школа, Книжный дом «Университет», 1998. – 304 с.
5. Мулен, Э. Теория игр с примерами из математической экономики: пер. с франц. / Э. Мулен – М. : Мир, 1985. – 200 с.
6. Оуэн, Г. Теория игр / Г. Оуэн. – М.: Вузовская книга, 2008. – 216 с.

THE USE EXPERT METHODS AND GAME THEORY METHODS WHEN MAKING DECISIONS DURING RESCUE WORKS

A. N. Domrachev, D. Y. Paleev, Y. M. Govorukhin, V. G. Krivolapov, V. I. Lipatin

The comparative analysis of using expert methods of double preference and game theory methods is done.

It is founded that these methods give close results, complete each other and can be used together when making decisions during rescue works.

Key words: RESCUE WORKS, DECISION MAKING, GAME THEORY, EXPERT METHODS, LINEAR PROGRAMMING

*Домрачев Алексей Николаевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Палеев Дмитрий Юрьевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Говорухин Юрий Михайлович
email: nf.vniipo@mail.ru*

*Криволапов Виктор Григорьевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Липатин Валерий Иннокентиевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

А. Н. Домрачев

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

Д. Ю. Палеев

д-р техн. наук, заведующий лабораторией Института угля СО РАН

Ю. М. Говорухин

канд. техн. наук, научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

В. Г. Криволапов

канд. техн. наук, заместитель начальника по научной работе Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

В. И. Липатин

научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

УДК 622.86: 622.33: 338.28

**К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТРУДОЕМКОСТИ
ВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Рассмотрена возможность использования метода Монте-Карло и теории массового обслуживания при решении задачи оценки численности горноспасательных подразделений. Предлагаемый подход позволяет выявить зависимость трудоемкости аварийно-спасательных работ и численность горноспасателей не только от числа, но и от потенциальной опасности обслуживаемых предприятий.

Ключевые слова: ДЛИТЕЛЬНОСТЬ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО, ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИИ

Действующие в настоящее время нормативные документы, согласно которым определяются структура и численность военизированных горноспасательных частей (ВГСЧ) [1], все еще в значительной мере основаны на традиционном нормативном подходе. Альтернативным подходом при решении данной задачи может считаться использование методов, максимально учитывающих случайный характер числа аварий, сопряженных с ними объемов ведения и трудоемкости аварийно-спасательных работ (АСР).

В качестве первого этапа реализации предлагаемого подхода может рассматриваться моделирование трудоемкости АСР на уровне военизированного горноспасательного взвода (ВГСВ) с целью оценки реальной (или максимально приближенной к ней) потребности в силах и средствах ведения горноспасательных работ. Основа модели включает элементы теории массового обслуживания и метода Монте-Карло в части оценки математического ожидания общей трудоемкости ведения АСР (рис. 1).

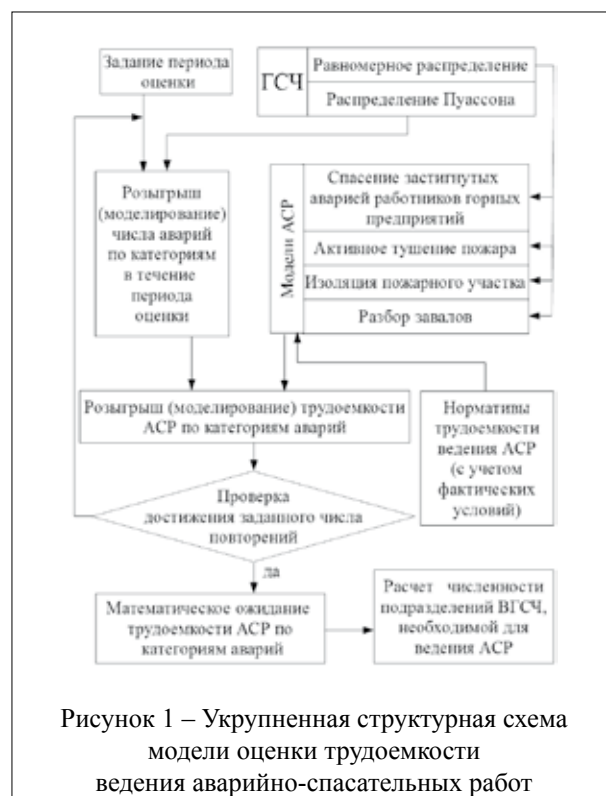


Рисунок 1 – Укрупненная структурная схема модели оценки трудоемкости ведения аварийно-спасательных работ

Для реализации равномерно распределенных случайных величин использован «minimal» random number generator of Park and Miller [2], а случайных величин, распределенных по закону Пуассона, – rejection method (с использованием гамма-функции) [2].

Период оценки трудоемкости АСР составляет один год с шагом по суткам при определении числа аварий (по видам) и шагом по часам при моделировании трудоемкости АСР (в человеко-часах). Число предприятий, обслуживаемых ВГСВ, имитируется параметрами дополнительных циклов при розыгрыше числа аварий.

Для розыгрыша числа аварий в течение года используется распределение Пуассона с параметром λ , принятым по данным шахт юга Кузбасса. При отсутствии фактических данных частота взрывов для предприятий Донецкого бассейна может быть принята равной 0,022, Печорского – 0,015, Кузнецкого – 0,074 [3].

Если для предприятия может быть определен период работы без аварий, T_0 , тогда параметр распределения Пуассона может быть оценен как $\lambda = \ln(T_0) / T_0$.

Затраты времени на выполнение всего объема определенного вида работы рассчитываются по общей формуле:

$$T = T_{табл} V \prod_{i=1}^N K_i, \tag{1}$$

где t – нормативные затраты времени на выполнение всего объема работы каждого планируемого вида, мин (ч);

$T_{табл}$ – норма времени на выполнение единицы объема планируемой работы, мин (ч), принимается по таблицам [4];

V – полный объем каждого планируемого вида работы в соответствующих единицах измерения;

K_i – значения поправочных коэффициентов ($i = 1, 2, \dots, N$), принимаются по таблицам [4].

Если нормы времени приводятся не на единицу работы, а на полный ее объем, то формула (1) приобретает вид:

$$T = T_{табл} \prod_{i=1}^N K_i. \tag{2}$$

Длительность и трудоемкость АСР определяются с использованием равномерно распределенной случайной величины, которая позволяет рандомизировать объемы работ V , необходимые при оценке трудоемкости активно-го тушения пожара, изоляции пожарного участка,

разборки завала и т. д. Если нормируется полный объем работ, то в этом случае рандомизируется непосредственно значение t (или выбор величины $t_{табл}$). Длительность и трудоемкость отдельных видов АСР определяются с помощью моделей, общая укрупненная структура которых приведена на рисунке 2.

Для повышения достоверности оценки математического ожидания трудоемкости АСР моделирование повторялось 1 000 раз.

На рисунке 3 приведена полученная в результате моделирования зависимость ожидаемой годовой трудоемкости тушения пожаров с изоляцией пожарного участка от величины λ пуассоновского распределения вероятности возникновения аварий данного вида на обслуживаемых предприятиях (на примере данных о предприятиях которые обслуживает ВГСВ, дислоцированный в г. Междуреченск).

Использование предлагаемого подхода позволяет:

- *оценить зависимость трудоемкости АСР:*
 - от числа обслуживаемых шахт;
 - опасности шахт по видам аварий (через параметр λ распределения Пуассона);
 - горнотехнических условий обслуживаемых шахт (через максимальные и минимальные ограничения на длину и сечение выработок);
- *по результатам моделирования получить зависимости для непосредственной оценки ожидаемой трудоемкости АСР в зависимости от величины λ пуассоновского распределения вероятности возникновения аварий того или иного вида.*



Рисунок 2 – Детализованная схема имитации трудоемкости АСР



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 28 января 2010 г. № 28 «Об утверждении Нормативов по организации военизированных горноспасательных частей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru>. – Загл. с экрана.
2. William, H. Press Numerical Recipes: third Edition/ William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery. – Cambridge university press, 2007. – 1262 с.
3. 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.
4. Горбатов, В. А. Учебник подземного горноспасателя / В. А. Горбатов [и др]. – 1-е изд. – Новокузнецк, 2005. – 252 с.

THE ESTIMATION OF LABOUR INPUT OF RESCUE WORKS AT MINING ENTERPRISES REVISITED

A. N. Domrachev, D. Y. Paleev, Y. M. Govorukhin, V. G. Krivolapov, V. I. Lipatin

The possibility of using Monte-Carlo method and queuing theory is considered at the solving problem of the numerical evaluation mine rescue units. Offered approach allows revealing dependence of labor input of rescue works and number of mine rescuers not only from number, but also from potential danger of the served enterprises.

Key words: DURATION OF RESCUE WORKS, MONTE-CARLO METHOD, QUEUEING THEORY, ACCIDENT ELIMINATION

Домрачев Алексей Николаевич
e-mail: nf.vniipro@mail.ru

Палеев Дмитрий Юрьевич
e-mail: nf.vniipro@mail.ru

Говорухин Юрий Михайлович
e-mail: nf.vniipro@mail.ru

Криволапов Виктор Григорьевич
e-mail: nf.vniipro@mail.ru

Липатин Валерий Иннокентиевич
e-mail: nf.vniipro@mail.ru

А. Н. Домрачев

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

Д. Ю. Палеев

д-р техн. наук, заведующий лабораторией Института угля СО РАН

Ю. М. Говорухин

канд. техн. наук, научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

В. Г. Криволапов

канд. техн. наук, заместитель начальника по научной работе Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

В. И. Липатин

научный сотрудник Новокузнецкого филиала ВНИИПО МЧС России

УДК 622.86:622.33:338.28

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВЗРЫВА ПЫЛЕМЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

На примере искусственно созданной выборки разработаны структура нейронной сети и модели на основе нечеткой логики с целью оценки возможности использования данных методов для прогнозирования вероятности взрыва пылеметановоздушной смеси. Установлено, что применение данных методов может расширить возможности оценки риска при ведении аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА, АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ, ВЕРОЯТНОСТЬ ВЗРЫВА ПЫЛЕМЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

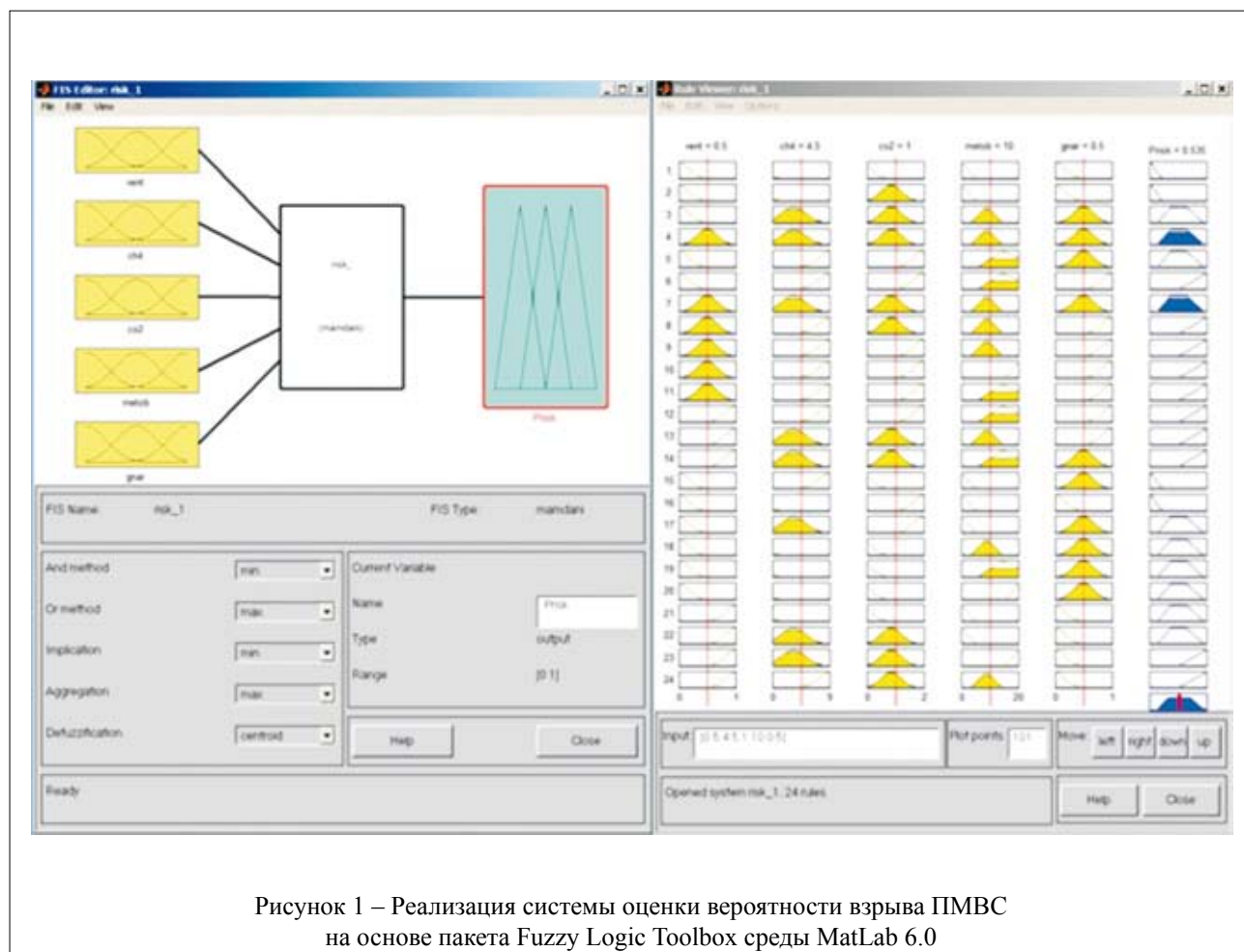
Сложность разработки нейронной сети для оценки вероятности взрыва пылеметановоздушной смеси (ПМВС) при ведении аварийно-спасательных работ (АСР) заключается, прежде всего, в формировании набора исходных данных и, соответственно, определении числа нейронов во входном слое. По мнению авторов, возможный перечень входных параметров может быть сформирован на основе данных, представленных в таблице 1. С целью выбора архитектуры и обучения сети была разработана экспертная обучающая выборка со структурой набора входных данных, аналогичной приведенной в таблице 2.

В качестве исходной платформы для нейросетевого моделирования использовалась среда MatLab 6.0 в режиме командной строки. На первом этапе была реализована сеть Кохонена с 6 нейронами во входном слое, четырьмя скрытыми слоями по 5 нейронов в каждом и одним нейроном в выходном слое. Сеть формально прошла обучение, однако результаты ее рабо-

ты были признаны неудовлетворительными. На втором этапе была реализована сеть Элмана, с аналогичной сети Кохонена структурой ($pnet1 = newelm(PR1,[5\ 5\ 5\ 5\ 1])$) [1–5], результаты обучения которой были более успешны ($SSE = 0,005122$). В контексте определения вероятности аварийной ситуации нечеткая логика может рассматриваться как формализованный вариант экспертной оценки, близкий по своей сути к аппарату экспертных систем. С целью проверки возможности использования аппарата нечеткой логики для анализа и оценки риска при ведении аварийно-спасательных работ была решена задача определения вероятности взрыва ПМВС на основе экспертных оценок, формализованных в виде набора правил системы с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox среды MatLab 6.0 [2, 6, 7]. В качестве входных переменных использованы данные, аналогичные набору для нейросетевого моделирования (см. табл. 2). Структурная схема и результаты реализации системы при работе в режиме изменения входных переменных приведены на рисунке 1.

Таблица 1 – Перечень исходных данных для оценки вероятности взрыва пылеметановоздушной смеси

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Примечания
1	Снижение производительности вентилятора главного проветривания (ВГП)	Доли ед.	По данным системы контроля работы главных вентиляционных установок
2	Газообильность аварийного участка (в т. ч. по составляющим)	м³/мин	Наибольший интерес представляет газовыделение со стенок выработки по расчетам и замерам участка ВТБ
3	Глубина нарушения проветривания аварийного участка	Доли ед.	По данным о состоянии (дверей) шлюза на пульте диспетчера
4	Концентрация CH ₄ (перед отказом автоматической газовой системы (АГЗ))	%	Параметры имеют смысл только при наличии дегазации, что усложняет обучение сети
5	Концентрация CH ₄ на входе дегазационной установки	%	
6	Снижение производительности дегазационной установки по метановоздушной смеси (МВС)	Доли ед.	Возможно использование вместо пунктов 5 и 6
7	Фактический коэффициент дегазации	Доли ед.	
8	Концентрация СО (СО ₂) на исходящей шахты (крыла, аварийного участка)	%	Может свидетельствовать о наличии пожара на аварийном участке, что очень важно при оценке возможности взрыва ПМВС
9	Нижний предел взрывчатости угольной пыли	%	По последним разделанным пробам



На основе рекомендаций [6] для входных переменных приняты функции принадлежности Гаусса (*gaussmf*), для выходной переменной – трапецевидная функция принадлежности (*trapmf*). В связи со спецификой функции принадлежности Гаусса в системах на основе нечеткой логики вводилась не остаточная производительность ВГП, а величина снижения производительности ВГП после аварии (в долях единицы). Исходные данные и сравнительные результаты моделирования с использованием сети Элмана и аппарата нечеткой логики приведены в таблице 2.

На основе вышеизложенного могут быть сделаны следующие выводы:

1. Наибольший интерес (и возможности для реализации) представляет задача определения вероятности того или иного опасного события (взрыв ПМВС, обрушение кровли выработки и др.) по имеющимся данным о состоянии объекта ведения аварийно-спасательных работ. В перспективе такой подход является более продуктивным, чем использование зависимостей, полученных на основе статистических методов.

2. Использование искусственно созданной «экспертной» выборки позволило проверить возможность применения нейронных сетей и систем на основе нечеткой логики при анализе и оценке риска, а также определить архитектуру, алгоритм и типы служебных функций (передаточных для нейросетевого моделирования и функций

принадлежности для нечеткой логики). Однако для подготовки обученной сети (системы) необходимы фактические данные, сбор и обработка которых являются следующим этапом выполнения научной работы.

3. Проблема свободной среды реализации нейронной сети может быть частично решена с использованием нейросимулятора SNNS (с учетом ограничений по типам операционных систем) или самостоятельным написанием необходимого кода [7]. Весьма существенным недостатком систем на основе нечеткой логики является отсутствие бесплатного программного обеспечения для их реализации, а также сложность непосредственной разработки системы в виде программы на языке высокого уровня.

4. Аппарат нечеткой логики дает уникальную возможность однократной подготовки набора правил в течение достаточно длительного времени группой профильных специалистов. Затем формализованные наработки такого экспертного сообщества могут быть использованы для анализа и оценки риска при ведении АСР в условиях ограниченного временного ресурса.

5. Наряду с анализом и оценкой риска при ведении аварийно-спасательных работ использование нейронных сетей и систем на основе нечеткой логики может быть расширено на выполнение экспертиз при разработке и согласовании планов ликвидации аварии на горных предприятиях.

Таблица 2 – Результаты моделирования с использованием сети Элмана и аппарата нечеткой логики (Fuzzy Logic Toolbox)

Параметр	Единица измерения	Наборы исходных данных					
		1	2	3	4	5	6
Снижение производительности ВГП	Доли ед.	<u>0,82</u> (0,18)	<u>0,9</u> (0,1)	<u>0,83</u> (0,17)	<u>0,95</u> (0,05)	<u>0,8</u> (0,2)	<u>0,75</u> (0,15)
Газообильность аварийного участка	м ³ /мин	5,2	3,1	5,0	6,5	2,5	3,0
Глубина нарушения проветривания аварийного участка	Доли ед.	0,58	0,3	0,2	0,8	0,3	0,4
Концентрация CH ₄ (перед отказом системы АГЗ)	%	1,0	0,5	1,2	1,5	1,0	0,7
Концентрация CO ₂ на исходящей шахты (крыла, аварийного участка)	%	0,55	0,30	0,70	0,20	0,40	0,30
Вероятность взрыва (НС)	Доли ед.	0,53	0,19	0,60	0,72	0,44	0,35
Вероятность взрыва (FUZZY logic Toolbox)		0,55	0,1	0,54	0,54	0,10	0,13

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каллан, Роберт. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. / Роберт Каллан. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 291 с.
2. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 221 с.
3. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. : пер. с англ. / Саймон Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1 104 с.
4. Дьяконов, В. П. Математические пакеты расширения MatLab. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. – СПб : «Питер», 2001. – 488 с.
5. Медведев, В. С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин; под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
6. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB / S. N. Sivanandam, S. Sumathi, S. N. Deepa. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 441 с.
7. Rao, Valluru B. C++ Neural Networks and Fuzzy Logic. M&T Books / Valluru B. Rao, Hayagriva Rao, 1995.– 549 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://freecomputerbooks.com/Cpp-Neural-Networks-and-Fuzzy-Logic.html>.

*THE USING OF NEURAL NETWORKS
AND FUZZY LOGIC METHODS IN ESTIMATING
METHAN EXPLOSION POSSIBILITY*

*A. N. Domrachev, D. Y. Paleev, Y. M. Govorukhin,
V. G. Krivolapov, V. I. Lipatin*

On the example of an artificial created sample developed a neural network structure and models based on fuzzy logic to evaluate the use of these methods for predicting the risk of the methane explosion It is established that the application of these methods can enhance the risk assessment during the rescue works.

Key words: NEURAL NETWORK, FUZZY LOGIC, RESCUEWORKS, METHANEEXPLOSION POSSIBILITY

*Домрачев Алексей Николаевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Палеев Дмитрий Юрьевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Говорухин Юрий Михайлович
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Криволапов Виктор Григорьевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

*Липатин Валерий Иннокентиевич
e-mail: nf.vniipo@mail.ru*

А. А. Трубицын

д-р техн. наук, проф., заместитель директора по научной работе ООО «НИИГП»

А. А. Христофоров

ведущий конструктор ООО «Горный ЦОТ»

А. А. Малахов

ведущий конструктор ООО «ВостЭКО»

УДК 622.817.4

УСТРОЙСТВА ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ВЗРЫВООПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

Рассмотрены проблемы скопления метановоздушной смеси атмосферы угольных шахт взрывоопасной концентрации, внезапных выбросов метана, доставки оборудования в труднодоступные места при авариях. Особое внимание обращается на ингибирование как эффективный метод предотвращения воспламенения и взрыва горючих газов. Предложены конструкции мобильного устройства для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси атмосферы угольных шахт, а так же показано применение технологии инертизации на проходческих комбайнах в системе пневмогидроорошения.

Ключевые слова: РАЗРАБОТКА, АНАЛИЗ, ИНГИБИРОВАНИЕ, МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ, СИСТЕМА АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, БЛОК УПРАВЛЕНИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ПОВЫШЕНИЕ, ФАКЕЛ, ВОСПЛАМЕНЕНИЕ, ВЫДУВАНИЕ МЕТАНА, ПРОВЕТРИВАНИЕ, МОБИЛЬНАЯ УСТАНОВКА, УСТРОЙСТВО, ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ГОРЕНИЕ, ВЗРЫВ, ДЕТОНАЦИЯ

***Ингибитор** (от лат. *inhibere* – задерживать) – вещество, замедляющее или предотвращающее течение какой-либо химической реакции: коррозии металла, старения полимеров, окисления топлива и смазочных масел, пищевых жиров и др.*

Краткая химическая энциклопедия

Актуальность проблемы

Увеличение темпов проведения и протяженности подготовительных выработок приводит к значительному росту метановыделения. Из-за выделения метана в процессе выемки угля на многих шахтах мира возникают опасные условия для ведения работ, последствиями которых являются гибель людей и разрушения оборудования вследствие взрывов.

Надлежащая практика обеспечения безопасности в угольных шахтах заключается в исключении образования взрывоопасных концентраций метановоздушных смесей, сокращении метановыделения в горные выработки, предотвращении возможности воспламенения и взрывов метана.

Применение различных возможных ком-

бинаций способов проветривания очистных забоев и тупиковых подготовительных выработок с целью разбавления интенсивно выделяющихся газов не всегда способствует достижению требуемой степени турбулизации в местах источников газовой выделенности, что порождает формирование зон повышенных концентраций метана. Так, например, при нагнетательном способе проветривания из-за несимметричного расположения трубопровода относительно центра и шероховатостей стенок выработки может возникнуть такое направление движения воздуха, при котором даже небольшая газообильность в выработке приведет к образованию непроветриваемых или слабопроветриваемых зон с местным и слоевым скоплением метана [5].

Из вышесказанного следует, что вопросы, связанные с внезапными выбросами газа, засто-

ями в зонах, малодоступных при непрерывном проветривании, нейтрализацией взрывоопасной концентрации метана остаются открытыми.

Горение является сложным физико-химическим процессом, поэтому для борьбы с ним должны использоваться наиболее эффективные методы, непосредственно влияющие на сам механизм, такие как добавление химически активных присадок (в малых количествах), состав которых зависит от свойства горючих газов, интенсивно реагирующих с атомами и радикалами, образуя малоактивные продукты, неспособные участвовать в цепном процессе горения [1, 2].

Коллективом авторов были проведены теоретические и экспериментальные исследования в области предотвращения воспламенения и взрыва горючих газов. В основу изысканий положена теория Н. Н. Семенова, в которой широко использовался механизм ингибирования, получившая развитие в теории неизотермических цепных процессов [1, 2].

Было установлено, что, если ингибитор не полностью предотвращает горение, например в результате очень малого количества, то он устраняет взрыв и детонацию, предотвращая тем самым присущее этим режимам горения разрушающее действие [1, 2].

Таким образом, технология полной или частичной инертизации шахтной атмосферы позволяет радикально изменить ситуацию на местах при ведении горных работ, создавая безопасные условия для труда шахтеров и работы оборудования.

Подводя небольшой итог, отметим, что разработка устройства для ингибирования атмосферы является не только актуальным направлением, но и необходимым требованием обеспечения безопасности условий труда работников на производстве.

Мобильное устройство для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси

При проведении поисковых, очистных работ и разборе завалов на аварийных участках шахты, т. е. в местах явного изменения сечения выработки и, как следствие, условий и режима проветривания, возникают трудности с доставкой спасательного оборудования. Работы проходят в условиях повышенной опасности, а счет времени идет на минуты. В ситуации, когда существует опасность повторных выбросов и доступ оборудования для снижения взрывоопасной концентрации метановоздушной смеси ограничен, наиболее актуальными являются перенос-

ные мобильные малогабаритные устройства.

На основе результатов ранее проведенных исследований и собственных разработок специалистами ООО «ВостЭКО» и «Горный ЦОТ» разрабатывается мобильное устройство для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси атмосферы угольных шахт (МУИВМС), предназначенное для контроля, нейтрализации взрывоопасных скоплений газа в пылегазовом облаке в местах работы горных машин и обеспечения безопасности. В перспективе, уже на стадии проектирования будут определяться все опасные по слоевым скоплениям метана зоны и, соответственно, оснащаться такими установками в обязательном порядке, что, в свою очередь, должно существенно повысить взрывобезопасность шахт.

На начальном этапе разработки были обозначены требования мобильности и удобства использования в любых труднодоступных местах, которые определили основные особенности конструкции устройства в зависимости от исполнения: ранцевого (переносного, индивидуального на рюкзаке) или передвижного на тележке, которую можно будет легко переместить к месту предполагаемого метановыделения.

Установка должна иметь электронный блок управления для мониторинга, управления и регистрации информации, а также осуществления связи по выделенному каналу с оператором шахты.

Одним из основных факторов, которые необходимо учесть при проектировании устройства, являются свойства газов. В тех случаях, когда газы имеют свойство расслаиваться, необходимо подавать их по схеме с двумя отдельными баллонами и смешивать непосредственно в форсунке.

МУИВМС ранцевого исполнения (переносное, индивидуальное на рюкзаке).

Устройство предназначено для использования в местах локального скопления метана, где нет возможности подвести или поставить стационарно тележку.

Принципиальная схема МУИВМС ранцевого исполнения показана на рисунке 1.

Краткое описание

Устройство ранцевого типа включает в себя: ранец (9), на котором располагаются баллоны с газом и ингибитором (1 и 2), устройства контроля и регулирования потоков (3), клапан (5), форсунка (в которой происходит смешение компонентов, если газ бинарный) (7), а также соединительный рукав и телескопическая трубка (11).

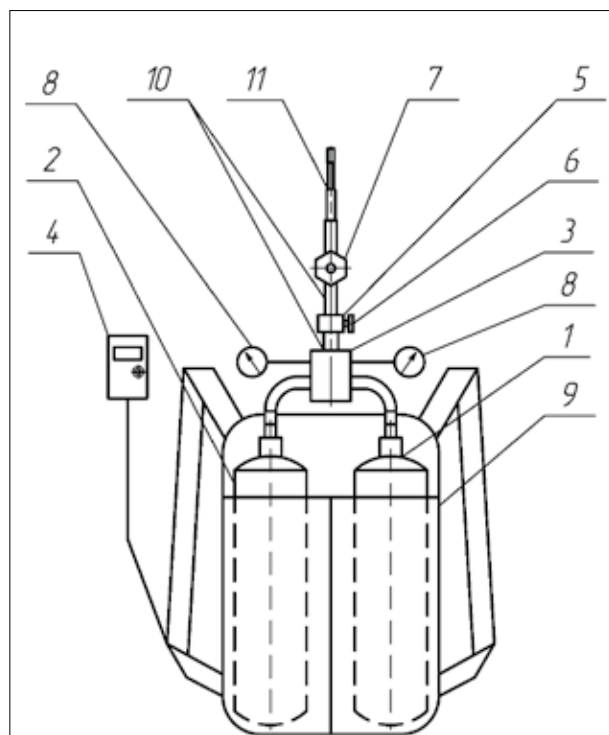


Рисунок 1 – Мобильное устройство для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси в шахтах ранцевого исполнения:

- 1 – баллон с ингибитором (компонент 1);
- 2 – баллон с ингибитором (компонент 2);
- 3 – регулирующий блок; 4 – газоанализатор;
- 5 – управляющий клапан; 6 – кнопка управления;
- 7 – форсунка; 8 – манометр; 9 – ранец;
- 10 – соединительный рукав;
- 11 – трубка телескопическая

Устройство также комплектуется газоанализатором типа GaSense (разработанным в ООО «Горный ЦОТ») (4), который располагается на ранце в свободном доступе для работника шахты или спасателя.

Принцип работы

При срабатывании сигнала датчика о превышении предельно допустимого уровня метана в атмосфере работник шахты или спасатель вручную открывает клапан, газ из баллона, проходя через блок контроля, подаётся к форсунке, и далее ингибитор с большой скоростью поступает в атмосферу.

В случае, когда ингибитор является двухкомпонентным газом – в баллонах 1 и 2 в сжиженном состоянии находятся ингибитор и инертный газ (например CO_2 или N). После открытия клапана инертный газ и ингибитор под необходимым давлением поступают в форсунку, где происходит смешение в заданной пропорции. Затем готовая смесь поступает в атмосферу.

МУИВМС, смонтированное на тележке (передвижное)

Разработанное в ООО «Горный ЦОТ» мобильное устройство может располагаться в местах разбучивания камер на крутом падении, в кутках очистных забоев, на пологом падении, а также в любых труднодоступных местах слоевых скоплений метана.

Принципиальные схемы МУИВМС, смонтированного на тележке, в зависимости от количества компонентов используемого газа, показаны на рисунках 2 и 3.

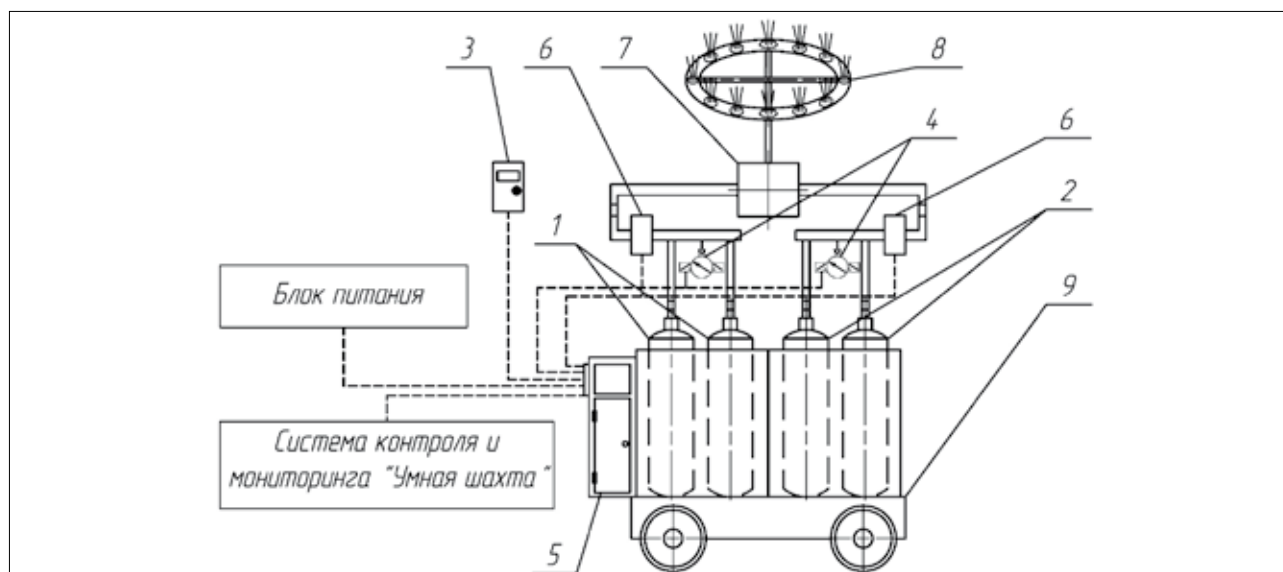
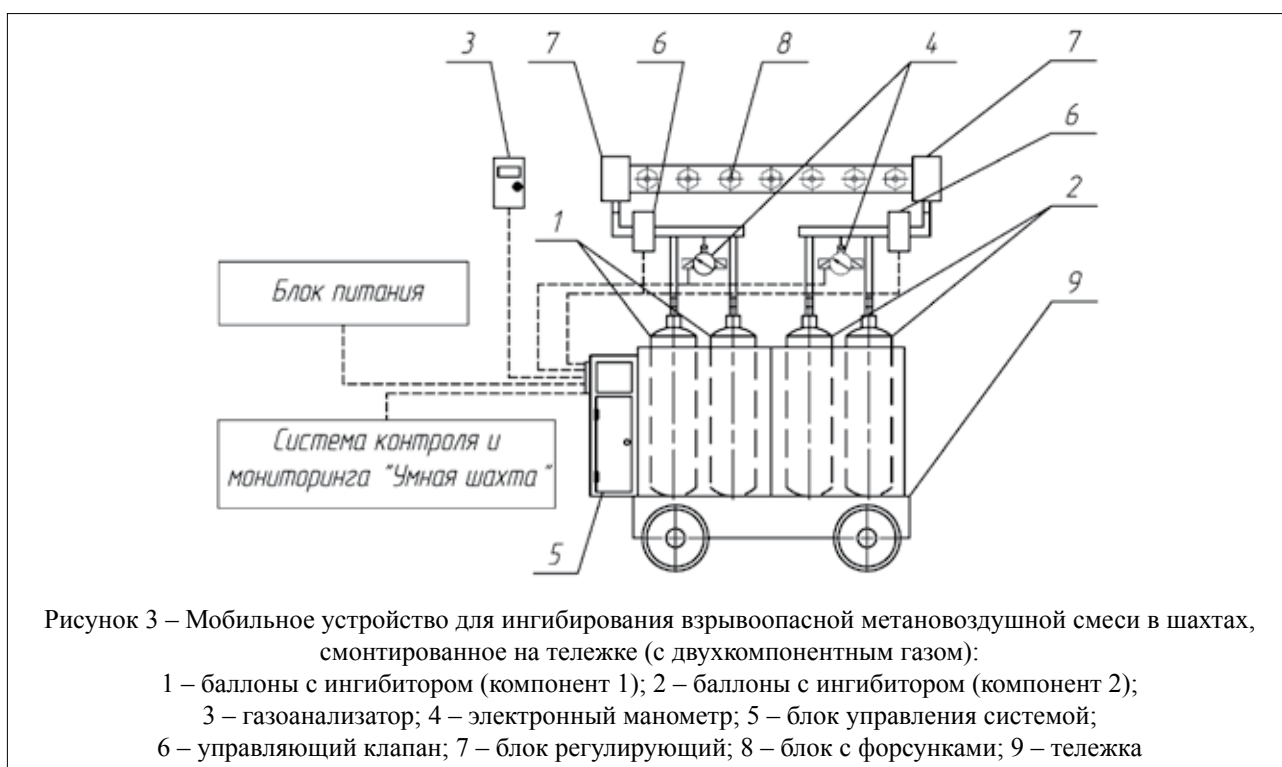


Рисунок 2 – Мобильное устройство для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси в шахтах, смонтированное на тележке (с однокомпонентным газом):

- 1, 2 – баллоны с ингибитором; 3 – газоанализатор; 4 – электронный манометр; 5 – блок управления системой;
- 6 – управляющий клапан; 7 – блок регулирующий; 8 – блок с форсунками; 9 – тележка



Краткое описание

Устройство передвижного типа в общем случае состоит из баллонов с газом-ингибитором (1 и 2), которые монтируются на тележке (9), газоанализатора (3), блоков управления и регулирования (5 и 7), блока с форсунками (8).

В случае, когда ингибитор является однокомпонентным газом, предлагается использовать форсунки стандартной конструкции для газов. Тогда используется однокамерный блок с форсунками упрощенной конструкции (см. рис. 2).

Если ингибитор является двухкомпонентным газом, применяется другой тип блока с форсунками (см. рис. 3).

Монтаж устройства может осуществляться как в постоянном пункте возможного скопления метана, так и иметь передвижной характер (например, на энергопоезде), поэтому предусмотрен альтернативный источник питания (аккумуляторная батарея) для бесперебойной автономной работы.

Важную роль в эффективной работе системы играет расстояние от устройства до источника образования и зоны прохождения потоков. Для выбора оптимального расстояния с учетом эжектирующих способностей факелов форсунок, компенсации инерционности газоанализатора и поступления на блок управления более объективной информации при установке в кутковых зонах очистных забоев МИУВМС может быть дистанционно привязано к обязательному стационарному кутковому датчику метана.

Параметры, при которых работает устройство, и количество оросителей рассчитываются, исходя из места установки, площади и длины выработки и автоматически регулируются блоком управления.

Автоматизация устройства

Управление и контроль МУИВМС осуществляется автоматически с помощью блока управления, который регулирует (возможно дистанционно) параметры газоздушных сред, собирает, анализирует, передает информацию с приборов диспетчеру на шахту по системе контроля и мониторинга. Оснащение устройства блоком питания и аккумуляторной батареей для бесперебойной автономной работы позволяет свести влияние внешних факторов к минимуму.

Принцип работы

На мобильной тележке или в постоянном пункте возможного скопления метана располагаются баллоны со сжатым инертным газом и ингибитором. На борту располагается газоанализатор типа GaSense либо метан-реле ТМРК. При достижении установленного порога концентрации метана в атмосфере (3 %) блок управления дает команду на открытие клапана. Инертный газ и ингибитор под давлением начинают свое движение, проходят через регулирующие блоки, понижающие давление до требуемого, и поступают к форсункам, которые установлены в блок с отдельными камерами. Далее газы смешиваются в заданных пропорциях, и готовая смесь поступает в атмосферу.

Применение технологии ингибирования

Следует отметить, что имеются все основания применения технологии ингибирования на проходческие комбайны в комплексе с системой пневмогидроорошения (ПГО) в момент работы исполнительного органа. ПГО используется достаточно эффективно в качестве одной из превентивных мер безопасности шахты, однако при больших объёмах выброса газа количество воздуха, которое эжектируется в пространство, может быть недостаточным для разбавления метана до безопасной концентрации. В таком случае комбинирование системы и технологии ингибирования шахтной атмосферы может сыграть решающую роль.

Создание системы на базе имеющегося опытного образца не ограничивает возможности для технических вариантов разработки различных конструктивных решений и их привязки к существующей конструкции.

Ранее были разработаны конструкции и испытаны экспериментальные образцы форсунок для орошения очагов пылеобразования, оп-

ределены основные параметры системы ПГО, оказывающие существенное влияние на эффективность её работы. На основании полученных данных нам удалось разработать **экспериментальный новый образец автоматической системы пневмогидроорошения и ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси** (далее – автоматической системы) за счет модернизации схемы блока управления, а также изменения в отдельном случае конструкции блока форсунок за счет добавления третьей камеры.

Примеры вариантов принципиальных схем автоматической системы представлены на рисунках 4–7.

Краткое описание

Автоматическая система в общем случае состоит из блока управления, в который входит электронный блок контроля, блок регулирования давления, дозирующего устройства (в зависимости от модификации) и другой контрольно-измерительной арматуры, а так же баллонов с компонентом(ми) и стандартного либо модерни-

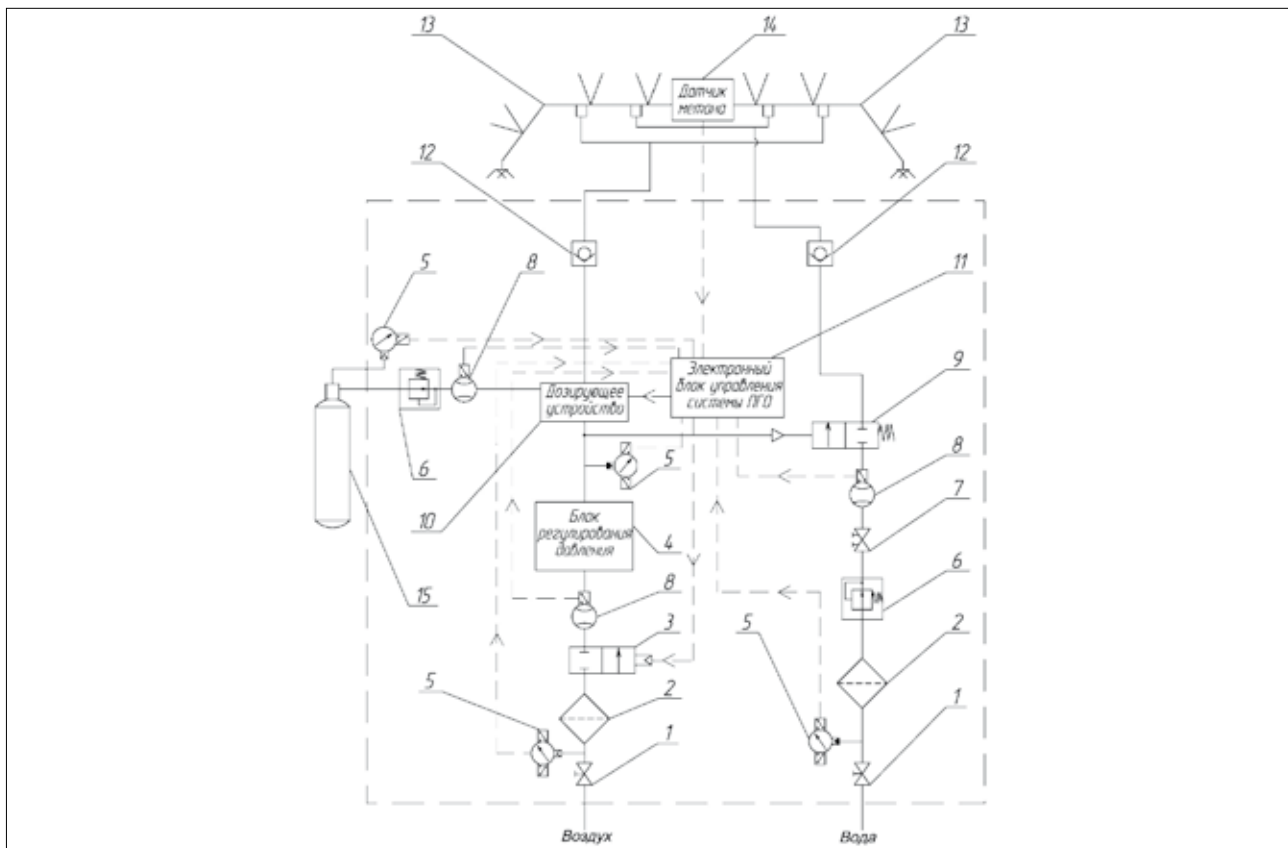


Рисунок 4 – Пример принципиальной схемы автоматической системы с возможностью регулирования расхода ингибитора в автоматическом режиме электронным блоком управления системы ПГО:

- 1 – кран запорный; 2 – грязеуловитель (фильтр); 3 – электромагнитный клапан;
- 4 – блок регулирования давления; 5 – манометр электронный; 6 – клапан редукционный;
- 7 – клапан балансировочный; 8 – электронный расходомер; 9 – клапан управляющий с пневмоприводом;
- 10 – дозирующее устройство; 11 – электронный блок управления системы ПГО; 12 – клапан обратный;
- 13 – блок форсунок; 14 – датчик метана; 15 – баллон с ингибитором

зированной (с добавлением третьей камеры) блока форсунок (рис. 5).

Принцип работы

В момент срабатывания датчика метана электронный блок управления системой подаёт сигнал и открывает подачу ингибитора. Газ, минуя блок управления системой, в требуемой пропорции поступает к форсункам.

Газ-ингибитор может подаваться:

1. По воздушному каналу, подмешиваясь в пропорции, необходимой для разрыва цепной реакции горения. Пропорция высчитывается исходя из показаний датчика блока управления.

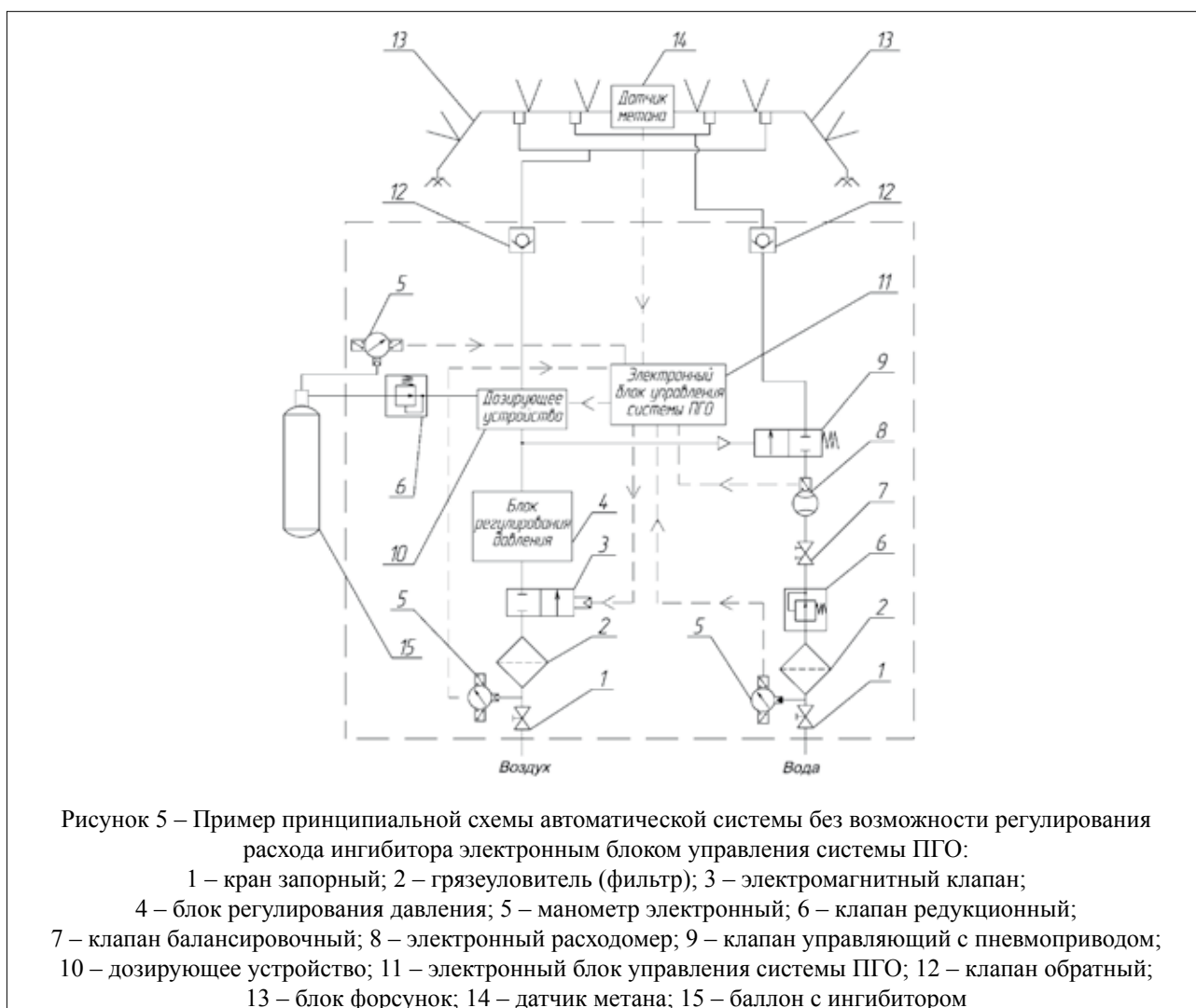
2. По воздушному каналу в концентрированном виде.

3. По водяному каналу в концентрированном виде, смешиваясь непосредственно в форсунке в необходимой пропорции.

4. По отдельному каналу в третью камеру блока форсунок, откуда и происходит его истечение через форсунку в концентрированном виде.

Предложенная разработка системы пневмогидроорошения и ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси атмосферы угольных шахт обеспечит высокий уровень безопасности при ведении работ в горных выработках, позволит сократить время на простоях при внезапных выбросах метана, тем самым увеличить производительность.

На этапе научно-исследовательской работы проанализирован достигнутый уровень техники по аналогичным устройствам. Получен патент № 138710 (дата приоритета от 30.10.2013 г.) на автоматическую систему пневмогидроорошения и ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси, а так же поданы заявки на изобретение № 2013148543 и 2013136183 на мобильное устройство для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси в шахтах, № 2013136203 на распылительное устройство для ингибирования взрывоопасной метановоздушной смеси в федеральную службу по интеллектуальной собственности (Роспатент).



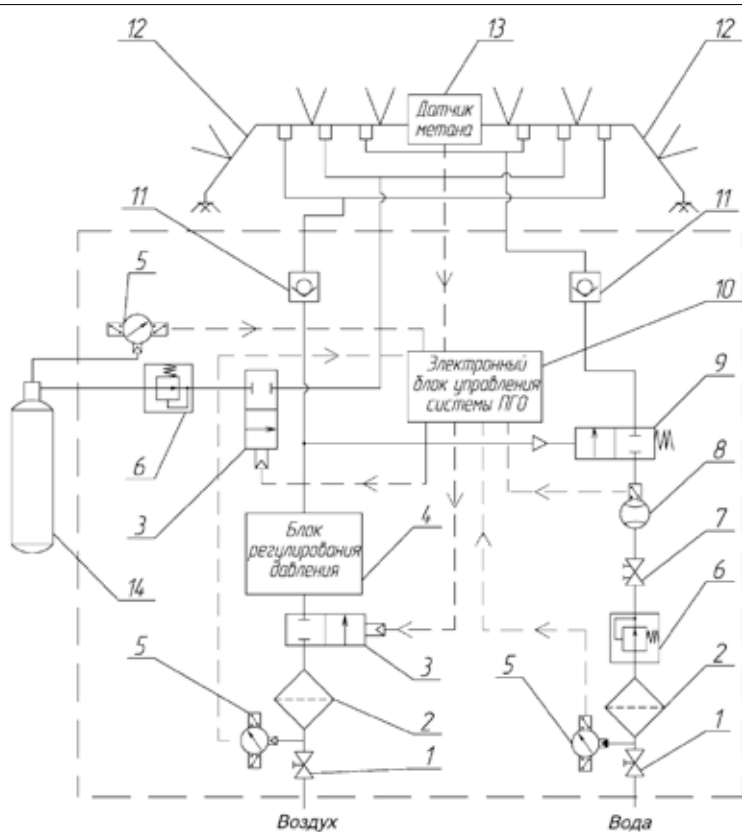


Рисунок 6 – Пример принципиальной схемы автоматической системы с трехкамерным блоком форсунок:
 1 – кран запорный; 2 – грязеуловитель (фильтр); 3 – электромагнитный клапан;
 4 – блок регулирования давления; 5 – манометр электронный; 6 – клапан редукционный;
 7 – клапан балансировочный; 8 – электронный расходомер; 9 – клапан управляющий с пневмоприводом;
 10 – электронный блок управления системы ПГО; 11 – клапан обратный; 12 – блок форсунок;
 13 – датчик метана; 14 – баллон с ингибитором

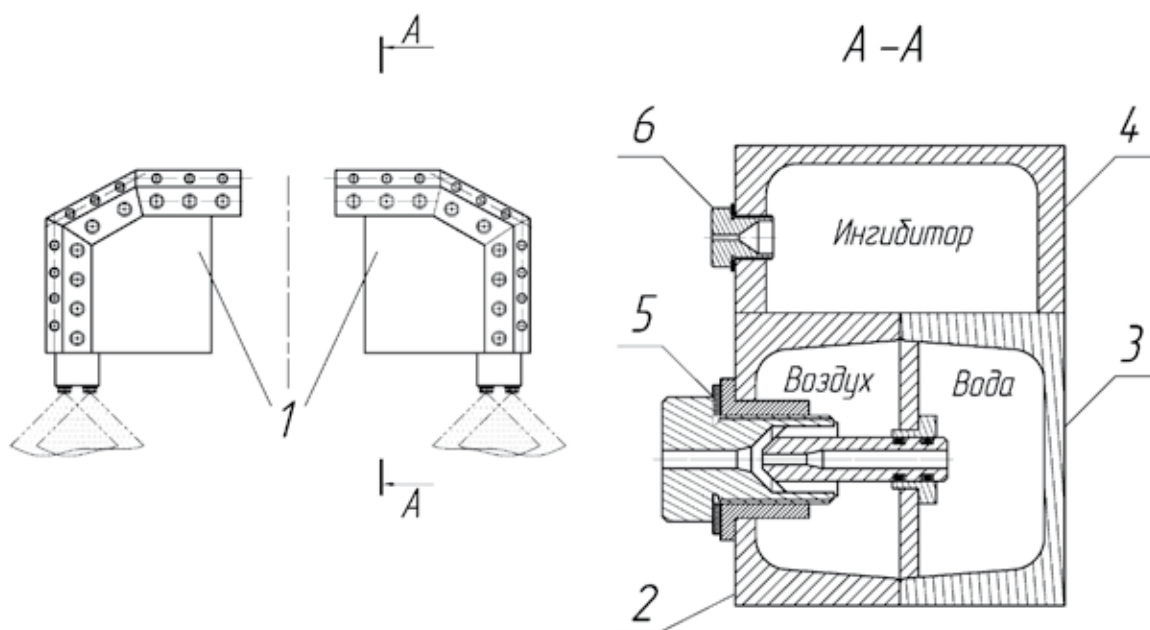


Рисунок 7 – Измененная конструкция блока форсунок:
 1 – блок форсунок системы ПГО; 2 – камера для подачи воздуха; 3 – камера для подачи воды;
 4 – камера для подачи ингибитора; 5 – форсунка для создания водовоздушного тумана системы ПГО;
 6 – форсунка для распыления ингибитора

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азатян, В. В. Химические методы ингибирования взрывоопасных сред / В. В. Азатян [и др.] // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2012. – № 5. – С. 38–46.
2. Азатян, В. В. Эффективные химические методы управления горением, взрывом и детонацией газов / В. В. Азатян, Т. Р. Тимербулатов, С. В. Шатилов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2012. – № 4. – С. 27–36.
3. Шатилов, С. В. Повышение эффективности и улучшение характеристик технологии пылеподавления. Разработка системы пылеподавления с использованием энергии воздуха или газа / С. В. Шатилов, А. А. Христофоров, П. Ю. Филатов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1.2 – С. 88–94.
4. Изыскать перспективные направления по созданию способов и средств прогнозирования, повышения эффективности управления газовой выделением, борьбы с внезапными выбросами угля и газа и эндогенными пожарами : отчет о НИР / ВостНИИ; исполн. А. А. Мясников, И. Д. Мащенко, С. П. Казаков, В. П. Птицын, И. А. Камышенский, Л. В. Цехин, А. В. Трубицын, В. Т. Медведев, С. В. Удотов, С. М. Авраменко, Л. Я. Лихачев, А. А. Гринюк, С. П. Ворошилов, Г. В. Чикунова, Н. К. Шмакова. – Кемерово, 1986. – 78 с.

*DEVICES FOR NEUTRALIZATION
FIRE DAMP EXPLOSIVE CONCENTRATION*

*A. A. Trubitsyn, A. A. Khristoforov,
A. A. Malakhov*

Problems of explosive concentration of a firedamp accumulation in coal mine atmosphere, methane outburst, equipment delivery in hard-to-reach spots at accidents are considered. The special attention is paid on inhibition as an effective method to prevent ignition and explosion of combustible gases. Design of a mobile device to inhibit firedamp explosive in coal mine atmosphere is offered and the use of technology for inserting with tunnelling machine in pneumatic water spraying system.

*Key words: DEVELOPMENT,
ANALYSIS, INHIBITION, METHANE EMISSION,
DEDUSTING, AERO-HYDRODYNAMIC SYSTEM,
MODERNIZATION, SAFETY, PRINCIPLE
DIAGRAM, CONTROL UNIT, EFFICIENCY,
INFLAMMATION, METHANE BLOWOUT,
AERATION, MOBILE INSTALLATION, DEVICE,
CHEMICAL METHODS, BURNING,
EXPLOSION, DETONATION*

*Трубицын Анатолий Александрович
e-mail: atrubitsyn@rambler.ru*

*Христофоров Александр Александрович
e-mail: knaz1984@gmail.com*

*Малахов Андрей Андреевич
e-mail: uz.malahov@gmail.com*

В. Н. Бордаков

главный конструктор ЗАО «Русинтек»

УДК 614.843

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ
ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

Приведены результаты расчётного и экспериментального исследования процесса подавления очага возгорания огнетушителями, заряженными водными растворами без отключения электроснабжения промышленной частоты с фазным напряжением до 1 000 В.

Ключевые слова: ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, КОНДЕНСАТОРЫ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОГNETУШИТЕЛИ, ПРОВОДИМОСТЬ СТРУИ, ОГNETУШАЩЕЕ ВЕЩЕСТВО

Введение

Одним из факторов, ограничивающих немедленное использование первичных средств пожаротушения, заряженных водными растворами и косвенно способствующих развитию пожара является необходимость отключения электроснабжения до начала тушения.

В соответствии со сводом правил СП 9.13130.2009 [1] к тушению очагов возгорания, в том числе без отключения электроснабжения промышленной частоты с переменным фазным напряжением до 1,0 кВ, допускаются только огнетушители, прошедшие испытания по методике п. 9.15 ГОСТ Р 51057-2001 [2]. Условием безопасного применения огнетушителя без предварительного отключения напряжения является то, что при испытательной разности потенциалов равной 36 ± 4 кВ переменного тока частотой 50 Гц ток утечки по струе огнетушащего вещества (ОТВ) не должен превышать 0,5 мА (безопасным для человека считается ощутимый ток промышленной частоты не более 0,6 – 1,5 мА). Однако в нормативных документах не оговорены значимые условия безопасности: величина напряжения в сети, при котором допускается тушение без отключения электроснабжения и минимальное расстояние от оператора до токоведущего элемента [1, 2, 3, 4].

Поэтому в отдельных руководствах установлены различные величины допустимого неотключаемого напряжения, противоречащие п. 4.1.19 правил СП 9.13130.2009 [1]. Большинство современных ОТВ на водной основе характеризуются незначительным удельным сопротивлением: менее 0,15 – 0,2 кОм·м. Очевидно, что при назначении параметров безопасного приме-

нения огнетушителей, заряженных водными растворами ОТВ, необходимо исключить поражение оператора электрическим током даже в самой сложной, не поддающейся предварительному прогнозу, чрезвычайной ситуации. В условиях реального пожара при повышении температуры и влажности, допустимые нормативы по величине безопасного тока через оператора рекомендуется уменьшить в три раза [4, 5].

Целью работы является уточнение условий, обеспечивающих безопасное использование первичных средств пожаротушения снаряженных водными растворами ОТВ, без предварительного отключения электроснабжения в зоне возгорания.

**Физическая модель тушения
очага возгорания
без отключения электроснабжения**

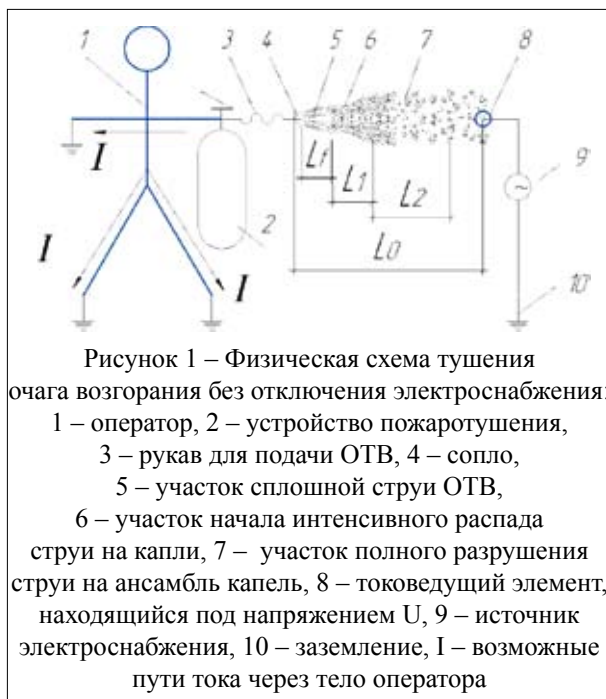
Известно, что техническая вода и водные растворы огнетушащих веществ электропроводны. В соответствии с нормативным документом, устанавливающим основные показатели и методы испытаний переносных огнетушителей, требование безопасности применения огнетушителя однозначно выполняется при суммарном сопротивлении электрической цепи между оператором огнетушителем и токоведущим элементом, находящимся под напряжением тока промышленной частоты, не менее [2]:

$$R_{\Sigma} = U_{isp} / I = 36\,000^{+4000} \text{ В} / 0,0005 \text{ А} = 72\,000\,000^{+8\,000\,000} \text{ Ом} = 72^{+8} \text{ Мом}$$

При проведении испытаний на электробезопасность по стандартной методике [2] ток утечки по струе измеряется при переменном на-

пряжении тока промышленной частоты между соплом и электродом, выполненным в виде металлической пластины размерами 1x1 м, которая моделирует оператора.

Для физического моделирования процесса тушения очага возгорания без отключения электроснабжения представим оператора с устройством пожаротушения как систему «оператор устройство пожаротушения – рукав с соплом - струйный поток - токоведущий элемент, находящийся под напряжением» (рис. 1).



Эффективным средством анализа различных физических процессов является метод замещения, когда реальная система моделируется эквивалентной электрической схемой. Представим схему замещения в виде электрической цепи, включающей активные и реактивные элементы. Замена реального процесса электротехнической физической моделью позволяет на основе закона Ома определить расчётным методом ожидаемую величину утечки тока в цепи «оператор – струя ОТВ – токоведущий элемент под напряжением» и с учётом, например, характеристик сопла сформулировать тактико-технические требования к оптимизации конструкции и обосновать назначение дистанции безопасного применения огнетушителя.

Для разработки схемы замещения в качестве одного из электродов рассмотрим токоведущий элемент, находящийся под напряжением питающей сети. В этом случае вторым электродом окажется оператор, стоящий на Земле с ог-

нетушителем. Тогда систему «оператор – токоведущий элемент» можно заменить в физической модели конденсатором эквивалентной ёмкости. По определению конденсатор представляет собой устройство из двух проводников, разделённых диэлектриком. Ёмкость конденсатора пропорциональна площади его проводников и обратно пропорционально расстоянию между ними. Отметим, что в начальный момент диэлектриком конденсатора, является воздушный зазор, в котором в процессе тушения формируется струйно-капельный поток ОТВ и изменяются электрофизические характеристики. Величина переменного тока через конденсатор зависит от его ёмкости, которая определяется геометрическими размерами и взаимным расположением токоведущих поверхностей, диэлектрической проницаемостью промежутка между ними, разностью потенциалов и частотой питающего напряжения [5]. Реактивное сопротивление конденсатора в поле переменного тока вычисляется по формуле:

$$X_c = \frac{1}{\omega \times C(\epsilon, L)}; \quad (1)$$

$$I_{uc} = U / X_c, \quad (2)$$

где X_c – реактивное сопротивление конденсатора, Ом;

I_{uc} – ток утечки через конденсатор, А;

$\omega = 2\pi f$;

ω – угловая частота тока в системе электроснабжения,

f – частота питающей сети электроснабжения, $f = 50$ Гц. для промышленной сети.

Соответственно $\omega = 314$ с⁻¹;

C – электрическая ёмкость конденсатора в рассматриваемой системе сопло – струя огнетушащего вещества – мишень, Ф;

U – разность потенциалов между обкладками конденсатора, в рассматриваемом случае между соплом огнетушителя и токоведущим элементом, В.

До начала применения огнетушителя схему замещения можно представить как электрический конденсатор с воздушным диэлектриком, включённый в цепь переменного тока. После подачи ОТВ в эквивалентной цепи параллельно конденсатору «С» следует включить и активное сопротивление, величина которого зависит от проводимости соответствующих участков струи ОТВ [6]. Причём в процессе образования капельного потока ОТВ ёмкость конденсатора увеличится вследствие роста относительной

диэлектрической проницаемость пространства и уменьшения зазора в системе проводящих поверхностей.

Очевидно, что для корректной численной оценки величин составляющих элементов электрической схемы замещения необходимы данные об электрофизических параметрах струи ОТВ и влиянию капельного потока на параметры конденсатора. Поэтому рассмотрим струйный поток как составляющую эквивалентной цепи.

Анализ результатов исследований по диспергированию потоков жидкости позволяет с приемлемой для практических целей погрешностью определить количественные характеристики и параметры разрушения струи ОТВ на ансамбль капель.

В соответствии с общепринятыми в гидромеханике представлениями вдоль оси струи жидкости, вытекающей из сопла, выделяют три характерных участка (рис. 1) [7]:

- первый, на котором можно пренебречь отрывом капель и рассматривать струю ОТВ, как однородную и сплошную, без разрушения на отдельные фрагменты;
- второй, где в результате развития неустойчивости начинается разрушение сплошной струи и интенсифицируется отрыв капель;
- третий характеризуется окончательным дроблением струи на ансамбль капель, которые далее движутся по баллистическим траекториям.

Данное деление струи жидкости на участки достаточно условно из-за отсутствия резких переходных границ.

Экспериментально установлено, что длины отдельных участков разрушения струи L_i в общем случае зависят от скорости жидкости на выходе из сопла, критериев Вебера, Бонда, Лапласа, геометрии сопла и физических параметров жидкости [7]. В общем случае по результатам экспериментов длины различных участков струй L_i как правило аппроксимируются параметрическими формулами вида:

$$L_i / d_c = f(We, La, M, L_c / d_c, R), \quad (3)$$

где $\frac{L_i}{d_c}$ – относительная длина i -го участка струи;

$$\frac{L_f}{d_c} \text{ – для } i = f \text{ – относительная длина}$$

сплошного участка струи;

$$We = \frac{\rho_f V^2 d_c}{\sigma_f} \text{ – критерий Вебера;}$$

$$La = \frac{\sigma_f \rho_f d_c}{\mu_f^2} \text{ – критерий Лапласа;}$$

$$M = \frac{\mu_f^2}{\rho_f d_c \sigma_f} \text{ – критерий отношения вяз-$$

ких и поверхностных сил;

$$Lc / d_c \text{ – относительная длина сопла;}$$

$$R = \frac{\rho_f}{\rho_f} \text{ – относительная плотность;}$$

V – скорость истечения струи из сопла, м/с;

L_c – длина сопла, м;

d_c – диаметр сопла, м;

σ_f – поверхностное натяжение жидкости, н/м²;

μ_f – динамическая вязкость жидкости, Па·с;

ρ_f, ρ_f – плотность внешней среды и жидкости соответственно, кг/м³.

Геометрические размеры условных зон разрушения по длине струй измеряются экспериментально. Заменим отдельные участки струи жидкости L_f, L_1, L_2 на соответствующие сопротивления R_f и R_1, R_2 . В связи с тем, что граница между участками струи L_1, L_2 сложно идентифицируется, заменим сумму сопротивлений R_1 и R_2 на R_3 . Кроме того, в расчётах необходимо учесть сопротивления тела человека, изолирующие свойства одежды, в том числе диэлектрические, рукава огнетушителя. В результате схема замещения сведётся к виду, представленному на рисунке 2.

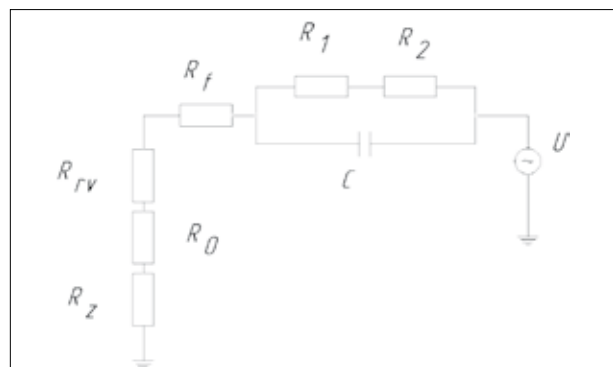


Рисунок 2 – Эквивалентная электрическая схема замещения физической модели тушения пожара без отключения электроснабжения:

R_2, R_0, R_{rv} – сопротивление изолирующего комплекта одежды, тела оператора, рукава высокого давления огнетушителя, соответственно, Ом;

R_f, R_1, R_2 – сопротивление сплошного, переходного и распыленного участков струи, Ом;

C – конденсатор в цепи

«оператор – токоведущий элемент»

В общем случае сопротивления отдельных участков струи являются функциями их длины.

Следует отметить, что сопротивление тела человека R_0 без специального комплекта электрозащиты не превышает 750–1 200 Ом. Сопротивление защитного электрического комплекта R_z не превышает 5–7 Мом. Сопротивление рукава огнетушителя R_{nv} , по результатам прямых измерений в поле приложенного напряжения постоянного тока 1 000 В, не превышает 100–200 кОм.

Расчётные оценки и анализ литературы показали, что в рассматриваемом случае плотность тока по струе ОТВ незначительна (0,07–0,2 мА/мм²), поэтому для проведения электротехнических расчётов используем закон Ома [11]. Соотношение для расчёта эквивалентного сопротивления в системе «соло – струя ОТВ – токоведущий элемент» запишется в виде:

$$R_{\Sigma} = R_0 + R_{nv} + R_z + R_f + R_3 + R_x, \quad (4)$$

где R_x – эквивалентное сопротивление участка цепи с параллельным соединением конденсатора и активного сопротивления, Ом; $R_3 = R_1 + R_2$

$$R_x = \frac{R_3 \times X_C}{R_3 + X_C}, \quad (5)$$

Тогда величина тока утечки по струе ОТВ в соответствии с законом Ома равна:

$$I_{ut} = U_f / R_{\Sigma}. \quad (6)$$

R_{Σ} – сопротивление эквивалентной цепи в схеме замещения, Ом;

I_{ut} – суммарный ток утечки по струе огнетушащего ОТВ, А;

U_f – приложенная разность потенциалов, В.

Ток утечки по сплошному участку струи ОТВ обратно пропорционален его длине:

$$I_{utf} = \frac{\delta U}{R_f} = \rho_f \frac{\delta U S_f}{L_f}, \quad (7)$$

где δU – падение напряжения на участке сплошной струи, В.

Ток через участок струи распавшейся на капли можно рассчитать по соотношению:

$$I_{ut} = \frac{\Delta U}{R_{\Sigma}} = \frac{\Delta U \left(R_3 + \frac{1}{\omega \times C(\epsilon, L)} \right)}{R_3 \times \frac{1}{\omega \times C(\epsilon, L)}} = \frac{\Delta U \left(R_3 + \frac{1}{\omega \times C(\epsilon, L)} \right)}{R_3} \omega \times C(\epsilon, L), \quad (8)$$

где ΔU – падение напряжения на участке распада струи на капли, В.

После преобразования соотношение (8) для расчёта тока утечки сведётся к виду:

$$I_{ut} = \frac{U (R_3 \times \omega \times C(\epsilon, L) + 1)}{R_3} = U \left(R_3 \times \omega C(\epsilon, L) + \frac{1}{R_3} \right), \quad (9)$$

где ρ_f , S_f – проводимость (Ом·м) и средняя площадь поперечного сечения (м²) сплошного участка струи ОТВ, соответственно.

Однако, сопротивление сплошного участка можно и не учитывать вследствие его малой величины, всего несколько сот кОм. Второй важной составляющей рассматриваемой эквивалентной цепи является конденсатор «С». В соответствии с законом Кирхгофа общий ток в параллельной цепи определяется как сумма токов, протекающих по реактивному и активному сопротивлениям [9]. Поэтому необходимо рассчитать величину ёмкости конденсатора.

Для расчётной оценки заменим распылительное сопло огнетушителя диском, диаметр которого определим из равенства его площади внешней поверхности сопла. Металлическую пластину площадью 1 м² заменим диском диаметром 1,13 м.

Для дальнейшего анализа за величину h примем расстояние между наиболее удалённой от сопла сплошной частью струи и токопроводящей пластиной, т. е. второй обкладкой конденсатора. Вследствие незначительного омического сопротивления, участок сплошной струи ОТВ можно рассматривать в качестве дополнительной электропроводной поверхности, уменьшающей межэлектродный зазор h и увеличивающий ёмкость конденсатора «С». Оценим изменение диэлектрической проницаемости воздушного зазора при наличии частиц ОТВ.

Для неупорядоченных сред расчет относительной диэлектрической проницаемости с удовлетворительной сходимостью проводится по формуле Лихтенекера:

$$lg \epsilon = n_1 lg \epsilon_1 + n_2 lg \epsilon_2, \quad (10)$$

где ϵ , ϵ_1 , ϵ_2 – относительная диэлектрическая проницаемость расчётного пространства и исходных веществ;

$\epsilon_a = \epsilon_1 / \epsilon_0$ – диэлектрическая проницаемость вещества, Ф/м;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая проницаемость вакуума;

n_1 , n_2 – относительная объёмная концентрация компонентов в рассматриваемом межэлектродном пространстве конденсатора.

На рисунке 3 приведены расчетные графики изменения относительной диэлектрической проницаемости воздушного зазора от объёмной концентрации различных ОТВ. Расчет проводится для струи с номинальным углом раскрытия 15°.

Из сравнения графиков, приведённых на рисунке 3 следует, что наличие паров и капель воды или водного раствора ОТВ влияет на диэлектрическую проницаемость практически равнозначно (рис. 3, кривые 2 и 3). При использовании порошков расчётная относительная диэлектрическая проницаемость увеличивается примерно на 30 % по сравнению с воздухом (рис. 3, кривая 1), что существенно меньше, чем при использовании водных растворов.

Для расчёта зависимости электрической ёмкости конденсаторного промежутка между «соплом – сплошным участком струи» и пластиной воспользуемся методикой, рекомендованной для двух коаксиальных дисков различного диа-

метра, расположенных на одной оси с зазором $h = 1 - L_p$ м [10]. Результаты расчёта изменения ёмкости конденсатора в относительных единицах в зависимости от длины сплошного участка струи представлены на рисунке 4. В расчётах начальное расстояние между соплом огнетушителя и пластинчатым электродом равно 1 м.

Анализ графиков на рисунке 4 показывает, что при длине сплошного участка около 0,6 м, величина ёмкости конденсатора возрастает более чем в три раза по сравнению с начальной. Отметим, что длина сплошного участка струи L_f и ёмкость гипотетического конденсатора «С» взаимосвязаны. Увеличение длины L_f приводит к уменьшению межэлектродного зазора h и росту ёмкости конденсатора «С». При некоторой длине сплошного участка струи, ёмкость конденсатора может превысить предельно допустимое значение, равное (примерно) 40 пФ. Тогда, даже значительное сопротивление сплошной струи не позволяет выполнить требования по электробезопасности, определяемое током утечки [1].

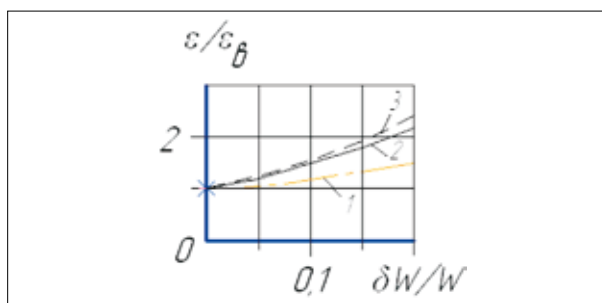


Рисунок 3 – Графики зависимости диэлектрической проницаемости воздушного зазора от относительной объёмной концентрации различных веществ: 1 – огнетушащий порошок; 2 – воздух содержащий пары и капли ОТВ; 3 – воздух насыщенный каплями и парами технической воды, ϵ_B – относительная диэлектрическая проницаемость влажного воздуха

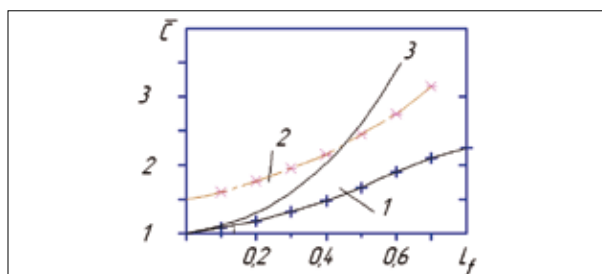


Рисунок 4 – График изменения емкости конденсатора в относительных единицах от длины L_f сплошного участка струи: 1 – + влажный воздух, 2 – * воздух, содержащий 10% капельно-паровой фазы ОТВ, 3 – расчёт с учётом изменения диэлектрической проницаемости в результате наличия паров и капель ОТВ от длины сплошного участка струи

Аппроксимация результатов расчёта изменения относительной ёмкости от длины сплошного участка струи конденсатора методом наименьших квадратов удовлетворительно согласуется формулой:

$$\bar{C} = \exp\left(2 \frac{L_f}{l_0}\right), \quad (11)$$

где l_0 – начальное расстояние между соплом огнетушителя и металлической пластиной, вторым электродом конденсатора, м. В рассматриваемом случае $l_0 = 1$ м.

При большой длине сплошного участка струи L_f , равной межэлектродному промежутку, конденсатор вырождается, и ток утечки определяется только суммой сопротивлений $R_0, R_{r'}, R_z, R_f$. Обеспечить в этом случае безопасность оператора от поражения электрическим током только за счёт омического сопротивления водной струи или водного раствора ОТВ практически невозможно.

Для обеспечения условий безопасности по току утечки необходимо увеличивать дистанцию, с которой осуществляется подача ОТВ на тушение, так чтобы полностью разрушить струю на ансамбль капель. Однако выполнить условие безопасности по току утечки на длине 1 м не удастся.

Следовательно, при ограниченных линейных размерах пространства, где испытывается или используется огнетушитель, для минимизации утечки тока по струе ОТВ необходимо уменьшение длины участка сплошной струи L_f , например за счёт оптимизации конструкции сопла.

В соответствии с расчётом, ёмкость конденсатора между металлическим соплом и мишенью составляет в начальный момент (воздушный зазор) не более 10–12 пФ. Подача водного раствора ОТВ приводит к увеличению ёмкости до 20–25 пФ (см. рис. 4, кривая 3) при длине участка сплошной струи около 450 мм. При этом эквивалентное реактивное сопротивление конденсатора в поле переменного тока промышленной частоты уменьшится с 450 до 250 Мом.

Полученный результат качественно согласуется с данными экспериментов, приведенных в работах [12, 13], что подтверждает преобладающее влияние участка распыла струи и, соответственно, конденсаторного эффекта на величину тока утечки по струе.

После несложных арифметических преобразований из закона Ома для эквивалентной цепи следуют формулы для расчёта допустимых величин ёмкости, как функции сопротивления или суммарного омического сопротивления струйного потока для известных параметров конденсатора.

$$C(\varepsilon, L) = \frac{1}{\omega \times X_C} = \frac{1}{\omega \times \frac{R_\Sigma - R_f}{1 + \frac{R_f}{R_3} - \frac{R_\Sigma}{R_3}}} = \frac{1 + \frac{R_f}{R_3} - \frac{R_\Sigma}{R_3}}{\omega \times (R_\Sigma - R_f)}, \quad (12)$$

$$R_3(L) = \frac{R_\Sigma - R_f}{1 + (R_f - R_\Sigma) \omega \times C(\varepsilon, L)} = \frac{R_\Sigma \left(1 - \frac{R_f}{R_\Sigma}\right)}{1 - R_\Sigma \left(1 - \frac{R_f}{R_\Sigma}\right) \omega \times C(\varepsilon, L)}. \quad (13)$$

Из уравнения 13 следует, что для обеспечения безопасности по току утечки, при увеличении ёмкости конденсатора до 20–25 пФ омическое сопротивление капельного участка струи должно быть не менее 180 Мом.

Экспериментальное исследование параметров струйно-капельного потока ОТВ

Анализ результатов исследований по диспергированию потоков жидкости позволяет с приемлемой для практических целей погрешностью определить количественные характеристики и параметры разрушения струи ОТВ на ансамбль капель.

Геометрические размеры участков разрушения струй ОТВ измерялись с помощью сетчатого зонда при приложенном номинальном напряжении постоянного тока 1000 В. В процессе измерений зонд устанавливался по нормали к оси струи и постепенно перемещался по длине. Принципиальная схема определения зависимости изменения сопротивления по длине струи ОТВ на выходе из сопла огнетушителя приведена на рисунке 5. В качестве измерительного прибора РА 1 при проведении экспериментов использовался мегаомметр типа Ф4102/1-1м с пределом измерений 20 ГОм при приложенном напряжении 1,0 кВ. Погрешность измерений прибора не превышает 5 % шкалы.

Положительная клемма измерительного прибора присоединялась к металлическому соплу огнетушителя, катод к сетчатому подвижному зонду. Конструктивно подвижный зонд состоит из несущего кольца диаметром 400 мм, снабженного сеткой с квадратной ячейкой 0,6 мм для устранения влияния возвратного потока капель. Зонд на изоляционной штанге перемещался по длине, вдоль оси струи. Измерения проводились в интервале 0,1–1 м относительно среза сопла при номинальном секундно-объемном расходе ОТВ - 0,3 ± 0,1 л/с. За условную границу сплошного участка струи ОТВ принималась наименьшая длина, после которой наблюдалось нелинейное увеличение омического сопротивления.

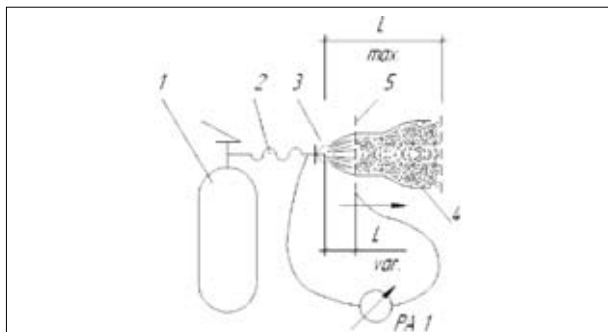


Рисунок 5 – Упрощенная схема измерения сопротивления струи:

1 – огнетушитель; 2 – рукав огнетушителя;
3 – сопло; 4 – струйный поток ОТВ;

5 – подвижный сетчатый зонд; РА1 – мегаомметр

В качестве жидкостей использовались техническая вода, водные растворы различных ОТВ. Испытания проводились на образцах сопел различной конструкции:

- № 1 комбинированное струйно-центробежное сопло с углом закрутки 3°;
- № 2, 3 цилиндрические сопла диаметрам 4 и 6 мм соответственно;
- № 4 сопло скомпонованное для минимизации тока утечки по струе [8].

Результаты измерений величины сопротивления по длине струи для различных сопел приведены на рисунке 6.

Из сравнительного анализа графиков на рисунке 6 следует, что сопротивление сплошного участка струи практически прямо пропорционально его длине, что согласуется с расчётом по формуле (12). Начало интенсивного разрушения струи на капли характеризуется отклонением от линейной пропорциональности, с дальнейшим экспоненциальным увеличением активного сопротивления по длине. Омическое сопротивление капельного потока распавшейся струи ОТВ на два – три порядка больше, чем у сплошного участка.

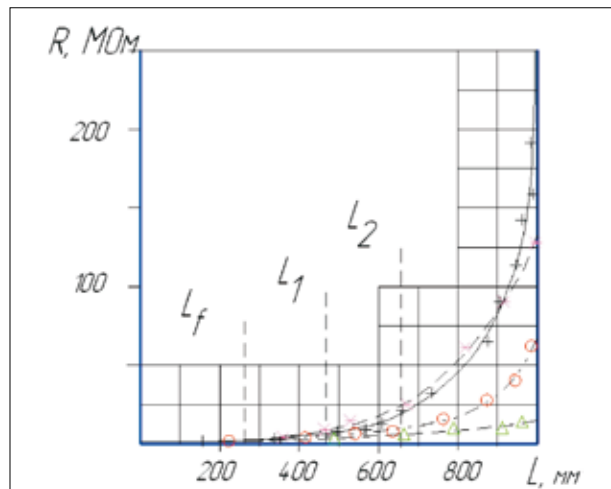


Рисунок 6 –Графики зависимостей изменения омического сопротивления по длине струи на выходе из сопла огнетушителя.

Номинальный секундно-объемный расход ОТВ 0,25±0,05 л/с. Номинальное приложенное напряжение постоянного тока 1000 В:

- * – комбинированное струйно-центробежное сопло № 1;
- – струйное сопло № 2 Dy = 4 мм;
- Δ – струйное сопло № 3 Dy= 6 мм;
- + – сопло № 4, разработанное для безопасного тушения без отключения электроснабжения;
- L_f, L_p, L_2 – условные границы участков струи для сопла № 4, сплошного, переходного и интенсивного распада на капли, соответственно

Из анализа экспериментальных результатов следует, что:

- длина сплошного участка струи L_f ОТВ при прочих равных условиях определяется конструкцией сопла. Для сопла № 4 длина участка сплошной струи не превышает 300–400 мм [8];
- измеренное омическое сопротивление сплошной части струи ОТВ не превышает 1–2 МОм;
- для гладких сопел, длина сплошного участка струи превышает 0,7–0,8 м, суммарное сопротивление струи на длине 1 м по величине меньше 25 МОм;
- на участке начала интенсивного распада струи сопротивление увеличивается на 10–20 МОм;
- после полного разрушения струи на капли сопротивление потока ОТВ увеличивается до 150,0–250,0 МОм.

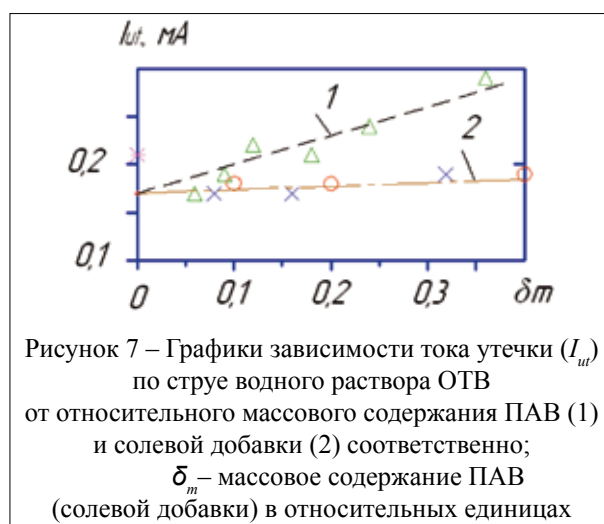
В связи с большой длиной сплошного участка струи цилиндрические сопла диаметрами 4 и 6 мм не позволяют обеспечить требуемые условия безопасности по току утечки. Условия безопасности на базовом измерительном зазоре 1 м выполняются только при использовании сопел, которые обеспечивают длину сплошного участка струи не более 300–400 мм.

Фактически, требование к величине омического сопротивления потока ОТВ можно рассматривать как своего рода критерий оперативной оптимизации конструкции сопла практически для любого источника огнетушащего вещества.

Для определения влияния состава ОТВ на ток утечки по струе была проведена серия экспериментов в поле переменного тока промышленной частоты при номинальном напряжении ~36 кВ.

На рисунке 7 приведены экспериментальные графики изменения тока утечки по струе ОТВ от массового содержания добавок в ОТВ.

Из анализа графиков, приведенных на рисунке 7 следует, что повышение относительной массовой концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) в водном растворе ОТВ с 0,1 до 0,3 сопровождается увеличением тока утечки практически в два раза (рис. 7, график 1). Наблюдаемый эффект объясняется тем, что наличие в водном растворе массовой доли ПАВ сопровождается увеличением вязкости, а следовательно, и длины сплошного, не распавшегося на капли участка струи. А поскольку проводимость сплошного участка не превышает в рассматриваемом случае 100 – 400 кОм это и приводит к росту ёмкости конденсатора, уменьшению суммарного реактивного сопротивления и увеличе-



нию тока утечки. В тоже время увеличение концентрации солевых компонентов в рецептуре ОТВ практически слабо влияют на величину тока утечки (рис. 7 график 2). Очевидно, что повышение в водном растворе концентрации солевой добавки до 30% масс. практически не приводит к существенному увеличению длины сплошного участка струи, а значит, и незначительно влияет на увеличение ёмкости конденсатора, который образуется между соплом и измерительной пластиной. В результате суммарный ток увеличивается не существенно, не более чем на 6–10 %.

Из анализа приведенных экспериментальных результатов в поле постоянного и переменного токов следует, что при прочих равных условиях основным элементом, определяющим в конечном счёте длину сплошного участка и величину тока утечки по струе ОТВ, является конструктивное исполнение распылительного сопла.

На основе полученных соотношений (12, 13) были проведены расчёты ожидаемого тока утечки для огнетушителей снаряженных водным раствором ОТВ для сопла № 4 (рис. 6) для испытательной разности потенциалов 36 кВ переменного тока промышленной частоты 50 Гц, которые сравнивались с результатами измерений.

Сравнение расчётных и экспериментальных результатов по току утечки для различных ОТВ приведено в таблице 1.

Из сравнительного анализа приведенных в таблице 1 результатов следует, что:

– ток утечки по струе ОТВ (вода, водный раствор пенообразователя, ОТВ) не превышает допустимой величины 0,5 мА при испытательном напряжении переменного тока 36 кВ [1].

– расчётная величина тока утечки удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Таблица 1 – Результаты расчётно-экспериментального определения тока утечки по струе ОТВ.
Сопло № 4

№ п/п	Наименование ОТВ	Расчётная величина тока утечки, мА		Экспериментальная величина наибольшего тока утечки, мА	
		начальная	по струе	начальная	по струе
1	Вода	0,05	0,22	0,08	0,24
2	Вода + ПО	0,075	0,3	0,10	0,32
3	Вода +ПО+солевая добавка	0,080	0,36	0,10	0,3

Таким образом, расчёт тока утечки по струе ОТВ на основе разработанной методики удовлетворительно согласуется с экспериментальными результатами, что подтверждает применимость предложенной физической модели.

Зная величину омического сопротивления капельного потока на основе результатов прямых измерений в поле постоянного тока по формуле (10) можно рассчитать:

- электрическую ёмкость межэлектродного промежутка;
- наибольшую допустимую длину сплошного участка струи.

Для тушения пожаров без отключения электроснабжения необходимым и достаточным условием безопасного применения огнетушителей является разрыв сплошной струи с обеспечением длины диспергированного потока ОТВ на капли не менее 0,3–0,4 м.

Анализ безопасности тушения очага возгорания без отключения электроснабжения по перенапряжению

При назначении величины допустимого неотключаемого напряжения необходимо принимать во внимание риски от возможных перенапряжений, которые возникают в цепях переменного тока при аварийном отключении.

В настоящее время наибольшее развитие получило электроснабжение потребителей с нейтральным проводником (с глухозаземленной нейтралью), а также линейное электропотребление с изолированной нейтралью и заземлением металлических частей конструкций электропривода.

Напряжение питания в общепринятой терминологии классифицируется как фазное U_f при этом уровень потенциала измеряется относительно нейтрали или как линейное напряжение с разностью потенциалов между фазами U_L . Соотношение между потенциалами вычисляется по формуле:

$$U_L = \sqrt{3}U_f. \quad (14)$$

Оценим максимальное напряжение U_M , которое может возникнуть в сети. Максимальная величина амплитудного броска напряжения, возникающая в сети переменного тока, зависит от номинального напряжения питающей сети и принимается равной: $\sqrt{2}U_c$. Допускаемое повышение питающего напряжения – 10 % [14].

Реальная электрическая сеть обладает индуктивными и конденсаторными свойствами, при обрыве цепи наибольшее перенапряжение пропорционально:

$$K_\phi = \frac{I_{нн}}{U_c} \sqrt{\frac{L_n}{C_m}}, \quad (15)$$

где K_ϕ – наибольший расчётный безразмерный коэффициент перенапряжения при аварийном отключении сети;

$I_{нн}$ – номинальный ток в момент отключения, А;

L_n, C_m – суммарная индуктивность и электрическая ёмкость отключаемой сети, Гн, Ф, соответственно.

Как правило, длительность переходного процесса не превышает 0,05–0,5 с. Поэтому величину коэффициента максимального перенапряжения, возникающего в сети при аварийном отключении, предлагается принимать в интервале 4,5–8 [16].

Тогда величина максимального перенапряжения, возникающего в сети при стечении неблагоприятных факторов, может составить:

$$U_M = K_c \times K_\phi \times \sqrt{2} \times U_c = 1,1 \times 8 \times 1,41 \times U_c = 12,4U_c, \quad (16)$$

где U_c – питающее напряжение сети фазное или линейное.

Следовательно, максимальное фазное напряжение, которое может возникнуть в электрической сети с рабочим напряжением 1000 В превысит 12,4 кВ. А значит и коэффициент запаса безопасности исчисляемый относительно испытательного напряжения по методике [1] ока-

жется меньше 3.

В цепях с линейным напряжением 1 730 В перенапряжение может превысить 24,5 кВ. В этом случае коэффициент запаса по испытательному напряжению окажется почти вдвое меньше: 1,5. С увеличением напряжения питания растёт вероятность электродугового режима, когда за счёт сил Лоренца происходит выброс высокотемпературной струи плазмы. Этот эффект также относится к поражающим факторам и требует дополнительных исследований. В общем случае величина не отключаемого напряжения должна назначаться в зависимости от расстояния между оператором и токоведущим элементом [16, 17].

В таблице 2 приведены рекомендуемые безопасные расстояния применения огнетушителей

при тушении очагов возгорания без отключения электроснабжения в зависимости от напряжения промышленной частоты.

Учитывая, что при стечении наиболее неблагоприятных обстоятельств при тушении пожара необходимо обеспечить безопасность человека даже с патологией сердца, допустимое наибольшее не отключаемое фазное напряжение 1000 В следует признать обоснованным при тушении очагов возгорания, огнетушителями снаряженными водными растворами ОТВ, с дистанций не менее 3 м. Для бытовых систем электроснабжения минимальное безопасное расстояние тушения 1 м должно обеспечиваться выбором конструкции сопла так, чтобы длина участка сплошной струи не превышала 0,4–0,6 м.

Таблица 2 – Рекомендуемое безопасное расстояние (длина безопасности) от сопла огнетушителя до токоведущего элемента при тушении очагов возгорания без отключения электроснабжения промышленной частоты

№ п/п	Напряжение, В		Огнетушитель ОВЭ-5, ОВЭ-6, ОВЭ-40 Рекомендуемое минимальное безопасное расстояние от сопла до токоведущего элемента, не менее, м
	Фазное, относительно земли	линейное	
1	220	380	1
2	660	1 140	2
3	1 000	1 730	3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил СП 9.13130.2009. Техника пожарная. Огнетушители.
2. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний (утв. постановлением Госстандарта России от 25 октября 2001 г. №435-ст) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Информационно-правовое обеспечение «Гарант», Эксперт-Гарант-Максимум. – Загл. с экрана.
3. ГОСТ Р 51017-2009. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытания.(утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. N 66-ст) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Информационно-правовое обеспечение «Гарант», Эксперт-Гарант-Максимум. – Загл. с экрана.
4. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (утв. постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.06.82 № 2987) Режим доступа: Информационно-правовое обеспечение «Гарант», Эксперт-Гарант-Максимум. – Загл. с экрана.
5. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / П. А. Долин. - М.: Энергоатомиздат. 1984. – 448 с.
6. Шрайбер, Г. Огнетушащие вещества. Химико-физические процессы при горении и тушении. Пер. с нем. / Г Шрайбер, П. Порст. - М.: Стройиздат. 1975. – 240 с.
7. Лышевский, А.С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками / А. С. Лышевский. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 179 с.
8. Бордаков В. Н. Распылительная форсунка огнетушителя. Евразийский патент № 01757. 2009.
9. Евдокимов, Ф. Е. Теоретические основы электротехники / Ф. Е. Евдокимов. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 560 с.
10. Иоссель, Ю. Я. Расчет электрической емкости : монография / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М. Г. Струнский. - 2-е изд., перераб. и доп 2-е изд., перераб. и доп. - Л. Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981 – 288 с.

11. Левич, В. Г. Физико-химическая гидродинамика. / В. Г. Левич - Гос. Издат. М.: 1959. – 700 с.
12. Копылов, С. Н. Определение безопасных расстояний при тушении электроустановок, находящихся под напряжением / С. Н.Копылов, В. А. Кущук, Е. В. Баранов // Пожарная безопасность: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 2008. - с. 52-62
13. Навценя Н. В. Исследование электропроводности огнетушащих струй и рекомендации по электробезопасности людей при тушении электроустановок / Н. В. Навценя, Н. В. Исайкин, И. Ф. Поединцев, О. М. Курбатский // Пожарная профилактика в электроустановках: Сб. трудов ВНИИПО, М.: ВНИИПО, 1992. с. 52 – 62.
14. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.(утв. постановлением Госстандарта РФ от 28 августа 1998 г. № 338) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Информационно-правовое обеспечение «Гарант», Эксперт-Гарант-Максимум. – Загл. с экрана.
15. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – 10 изд. – М.: Гардарики, 1999. – 638 с.
16. NFPA 10. Standard for Portable Fire Extinguishers. 2002 Edition. – 65 p.
17. Тактика тушения электроустановок, находящихся под напряжением. Рекомендации. ВНИИО, М.: 1986.

*PROCESS MODEL EXTINGUISHING
FIRES ENERGIZED*

V. N. Bordakov

The results of the calculated and experimental study of the process of the fire source suppression by extinguishers, charged with an aqueous solution without power outage power frequency with a phase voltage up to 1000 V are given.

Key words: FIRE SAFETY, CAPACITOR, ELECTRICAL SAFETY, FIRE EXTINGUISHERS, STREAM CONDUCTIVITY, FIRE EXTINGUISHING AGENT

*Бордаков Валерий Николаевич
e-mail: 449valera@mail.ru*

В. И. Завгородний

ведущий научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

УДК 62-252.1

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ НАВИВКИ КАНАТА
НА БАРАБАН ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ**

Рассмотрен расчет параметров элементов устройства многослойной навивки каната на барабан подъемной машины (ПМ) конструктивно выполненного по патенту № 2205148. Выполнен анализ кинематики укладки витков каната по слоям навивки, дан расчет коэффициента перекрытия витков, рассмотрено понятие угол пробега переходной волны и расчет места выхода волны к реборде барабана в переходной зоне навивки слоя каната.

Ключевые слова: ПОДЪЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА, МНОГОСЛОЙНАЯ НАВИВКА, КАНАТ, БАРАБАН, РЕБОРДЫ, КЛИНЬЯ ПОДЪЕМА, ПЕРЕХОДНАЯ ЗОНА, КЛИНОВОЙ ЗАЗОР, ПЛОТНОСТЬ УКЛАДКИ ВИТКОВ, ПЕРЕХОДНОЙ ВИТОК, УГОЛ СДВИГА ВИТКА, ВОЛНА

Применение многослойной навивки каната на барабан подъемной машины (ПМ) обусловлено необходимостью расширения технологических возможностей данных машин. В связи с этим возникает вопрос повышения безопасности и надежности подъемной машины с многослойной навивкой каната на барабан за счет исключения деформации прядей витков каната в зонах перехода с одного слоя на другой и упорядочения укладки витков каната в слоях навивки.

Устройство, заявленное в патенте № 2205148 [1], обеспечивает возможность создания в переходных зонах у реборд благоприятных условий укладки витков каната с равномерным распределением в слое навивки. Практическая реализация устройства требует расчета конструктивных параметров элементов ступенчатых реборд, вкладышей и клиньев подъема переходных витков каната.

Для решения этой задачи необходимо учитывать элементы кинематики многослойной навивки, связанные с особенностью укладки витков каната в переходных зонах и по слоям навивки каната на барабан.

Анализ кинематики укладки витков каната в переходных зонах и по слоям навивки на барабан является важной составной частью расчета параметров элементов устройства многослойно навивки каната. В качестве объекта анализа рассматривается барабан для многослойной навивки каната, имеющий цилиндрическую поверхность с профильной винтовой канавкой и

ребордами, которые выполнены с цилиндрическими кольцевыми ступенями, а в переходных зонах размещены клинья подъема витков каната, и установлен вкладыш в зазоре между первым витком трения и ребордой барабана в соответствии с формулой изобретения [1].

Барабан для разработанного способа многослойной навивки изображен на рисунке 1 – продольный разрез; на рисунке 2 – зона укладки витков у правой реборды.

При вращении барабана канат 2 навивается по винтовой канавке, справа налево, образует первый слой и, перемещаясь в зоне перехода по клину подъема 10, переходит через смежный виток на второй слой навивки и укладывается при дальнейшей навивке в канавку, образованную смежными витками каната в первом слое навивки, образуя второй слой навивки. На участке в зоне перехода со второго слоя на третий последний виток второго слоя, перемещаясь по клину подъема, переходит через смежный виток на третий слой навивки и укладывается между витками второго слоя, образуя третий слой аналогично навивке второго слоя. Это относится и к последующим слоям навивки.

Для исключения «провала» последнего витка второго слоя применяется компенсирующий вкладыш, установленный в свободную зону винтовой канавки между правой ребордой и начальным витком первого слоя навивки.

Зоны «провала» витков имеются во всех слоях навивки каната, что связано с особен-

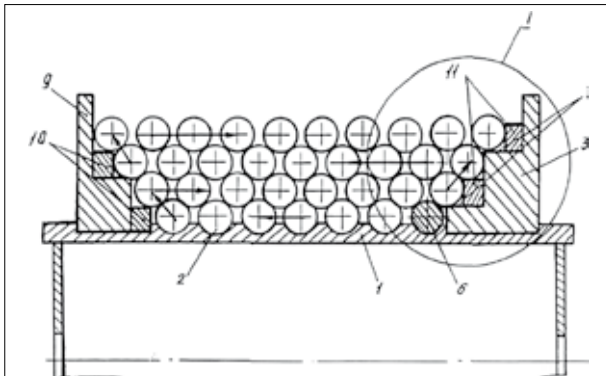


Рисунок 1 – Продольный разрез барабана:
 1 – обечайка барабана с профильной канавкой;
 2 – канат; 3 – правая реборда; 6 – компенсирующий вкладыш; 7 – цилиндрические ступени реборды;
 9 – левая реборда; 10 – клинья подъема левой реборды; 11 – клинья подъема правой реборды

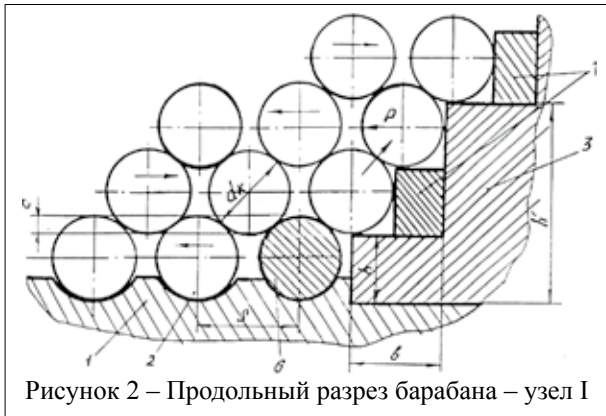


Рисунок 2 – Продольный разрез барабана – узел I

ностью укладки волн «крестовых» переходов в зонах у реборд. Для устранения «провалов» витков в этих зонах возникает необходимость в применении компенсирующих вкладышей, геометрические параметры которых определяются путем графического анализа укладки каната в переходных зонах реборд.

Многослойная навивка каната характеризуется плотностью укладки витков каната в слоях навивки, которая зависит от шага навивки S и диаметра каната d_k . Плотность укладки определяется величиной перекрытия витков каната C (рис. 2), которая определяется из выражения:

$$C = (1 - k_n) \cdot d_k, \quad (1)$$

где k_n – коэффициент перекрытия витков;
 d_k – диаметр каната, мм.

Величина k_n определяется из расчетной схемы укладки витков каната (рис. 3).

Расчет выполняется из условия, что

$$k_n = H / d_k, \quad (2)$$

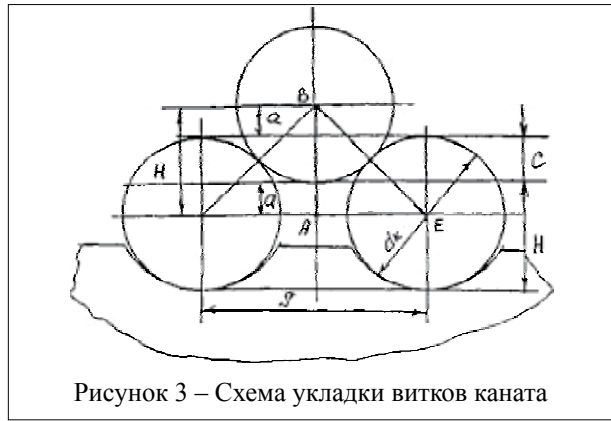


Рисунок 3 – Схема укладки витков каната

где H – межцентровое расстояния витков каната, мм.

Из $\triangle ABE$ следует

$$H = \sqrt{d_k^2 - (S/2)^2}, \quad (3)$$

где S – шаг навивки, определяемый винтовой канавкой барабана, мм.

Тогда

$$k_n = \sqrt{d_k^2 - (S/2)^2} / d_k, \quad (4)$$

после преобразования получим:

$$k_n = \sqrt{1 - (S / (2 \cdot d_k))^2}. \quad (5)$$

Для анализа кинематики укладки витков каната можно рассмотреть случай двухслойной навивки. Схема укладки представлена на рисунке 4. Представленная схема соответствует реальной картине укладки для ПМ типа Ц1,6х1,2 и Ц2,5х2,0.

Анализ укладки позволяет выявить закономерность, заключающуюся в том, что за один оборот барабана каждый виток второго слоя совершает два крестовых перехода через смежные витки нижнего слоя.

За каждый последующий оборот барабана переходный процесс повторяется – два крестовых перехода через смежные витки, с угловым шагом сдвига φ_B по направлению укладки на барабан ПМ.

Таким образом, формируются две волны VI, VII крестовых переходов витков, которые перемещаются по поверхности барабана с угловым шагом сдвига φ_B . Волны крестовых переходов витков формируются параллельно друг другу с одним углом наклона к оси барабана ψ_0 и с угловым шагом сдвига смежных витков в слое навивки φ_B .

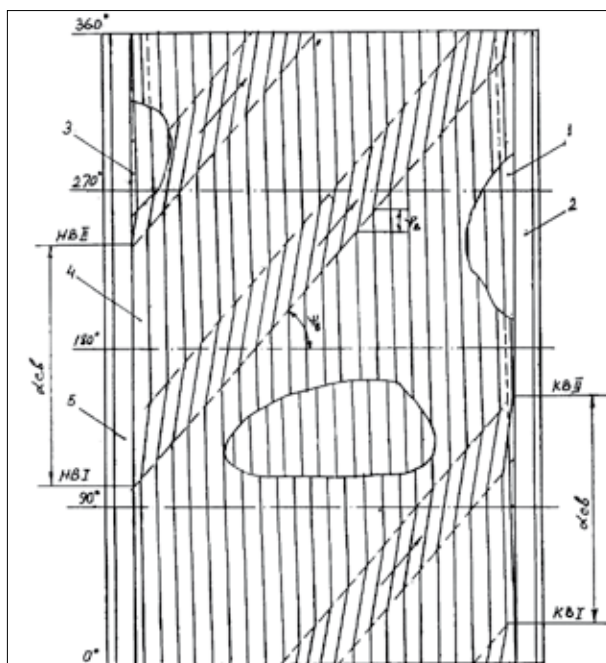


Рисунок 4 – Схема двухслойной навивки каната на барабан:

- 1 – компенсирующий вкладыш первого слоя навивки; 2 – ступень правой реборды;
- 3 – клин подъема переходного витка 1–2;
- 4 – переходной виток 1–2 слоя навивки;
- 5 – ступень левой реборды;
- НВ–I, НВ–II – начало волны переходов I и II;
- КВ–I, КВ–II – конец волны переходов I и II

В ходе анализа волновых процессов выявлена зависимость φ_B от плотности укладки витков каната в слоях навивки. Величина φ_B определяется плотностью укладки витков в слоях навивки и находится в функциональной зависимости от k_n , т. е. $\varphi_B = f(k_n)$ (табл. 1).

По результатам исследований кинематики навивки каната на барабанах подъемных машин установлена экспериментальная зависимость $\varphi_B = f(k_n)$, которая представлена на рисунке 5. Используя данную зависимость, можно прогнозировать параметры волновых переходов витков и определять зоны выхода волн переходов к ребрам. Это важно для графического анализа процесса навивки и определения конструктивных параметров клиньев подъема и компенсирующих вкладышей для кольцевых ступеней реборд барабана ПМ.

Углы наклона результирующих волн переходов VI, VII к оси барабана ПМ определяется из выражения:

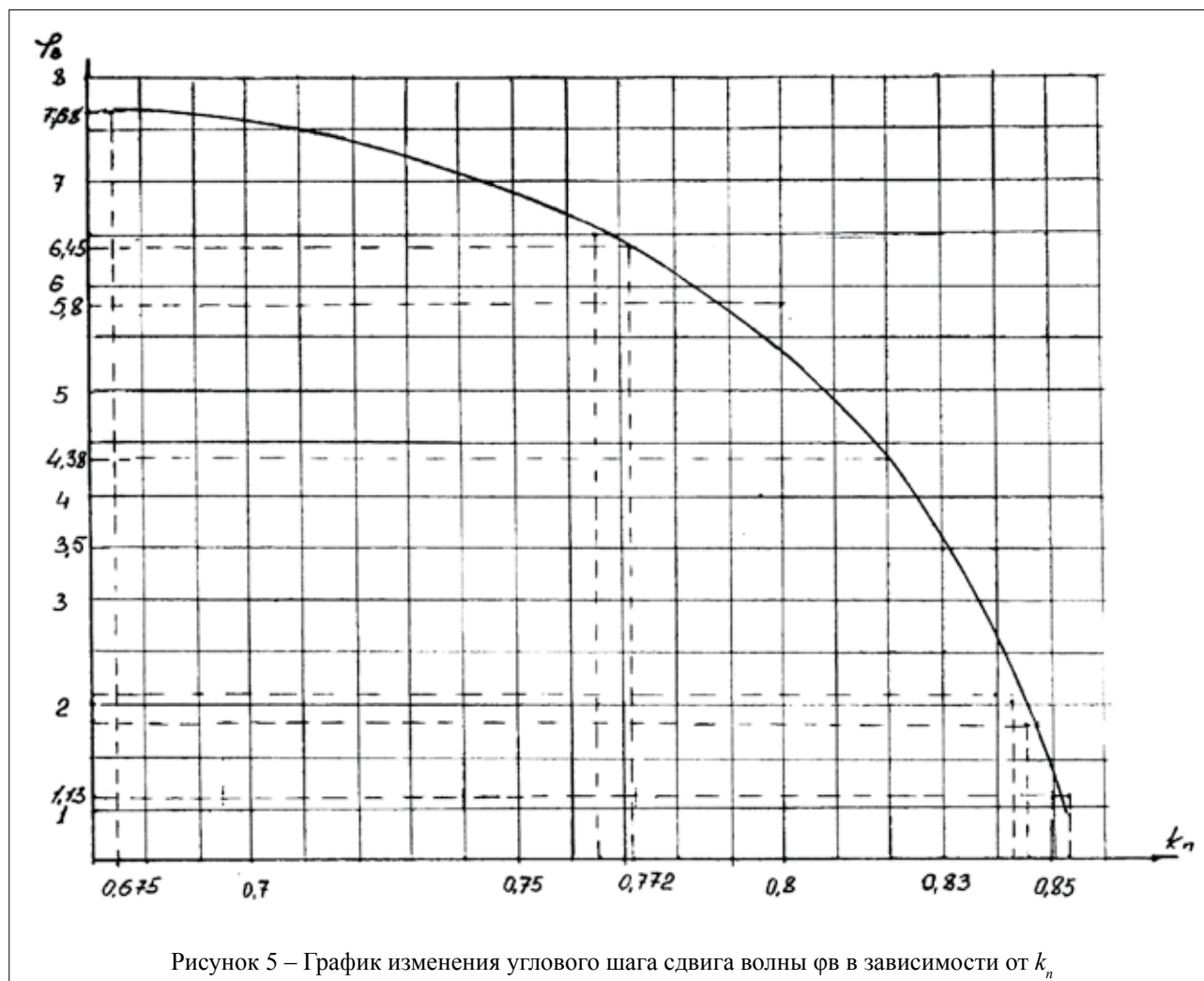
$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{\delta}{S}, \quad (6)$$

где δ – сдвиг волны на один виток слоя, мм.

Таблица 1 – Параметры кинематики многослойной навивки по данным исследований подъемных машин

Шахта	ПМ	$S_{\text{вк}}/d_k$	$\gamma_{\text{в}}$	n	k_n	φ_B
ш/у Сибирское	Ц2,5x2	1,48	484	64	0,675	7,68
Полысаевская	БЛ-1600	1,29	273	42	0,766	6,5
Юбилейная	Ц2x1,5	1,27	335	53	0,772	6,45
Кыргайская	Ц1,6x1,2	1,2	250	43	0,800	5,8
Первомайская	Ц1,6x1,2	1,17	218	495	0,820	4,38
Полосухинская	Ц3,0x2,2	1,12	254	77	0,830	3,5
Физкультурник	Ц2,5x2,0	1,08	150	72	0,840	2,08
Ульяновская	ПМЛ2,5x1,35	1,08	96	45	0,843	202
Первомайская	Ц1,6x1,2	1,07	90	49	0,846	1,84
Полосухинская	Ц2,5x2,0	1,04	76	76	0,854	1,13

Примечание. $S_{\text{вк}}$ – шаг винтовой канавки обечайки барабана ПМ, мм; d_k – диаметр каната, мм; $\gamma_{\text{в}}$ – угол пробега волны «крестовых» переходов, мм; n – количество витков каната в слое навивки, шт.; k_n – коэффициент перекрытия витков; φ_B – шаг сдвига «крестовых» переходов витков, град./виток.



Определяется как:

$$\delta = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi_B}{360}, \quad (7)$$

тогда

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi_B}{360 \cdot S},$$

или

$$\sin \psi_2 = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + S^2}}; \quad \psi_2 = \operatorname{arsin} \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + S^2}}.$$

Угол пробега переходной волны по поверхности барабана от левой реборды к правой определяется из выражения

$$\gamma_B = \varphi_B \cdot n_B, \quad (8)$$

где n_B – количество витков между ребордами барабана.

Проведенными исследованиями на ПМ Ц1,6х1,2, оснащенной устройством для многослойной навивки, разработанным по патенту № 2205148 экспериментально установлено, что навивка следующего третьего слоя также сопровождается формированием двух волн переходных витков, которые соответствуют по углу сдвига и углу пробега волновым переходом второго слоя навивки, причем волны третьего слоя накладываются на волны второго слоя и их результирующая направлена в противоположную сторону относительно волн второго слоя (т.е. волны переходов третьего слоя перемещаются в направлении встречном к направлению движения волн во втором слое навивки). Начало волны третьего слоя совпадает с концом сопрягаемой волны второго слоя, а конец – с ее началом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2205148 Российская Федерация В66D1/30. Способ многослойной навивки каната на барабан и устройство для его осуществления / Завгородний В. И.; заявитель и патентообладатель Завгородний В. И. – 99124849/28; 23.11.1999; опубл. 27.05.2003.

THE CALCULATION OF PARAMETERS FOR ROPE WINDING MULTILAYER DEVICES ON THE HOIST MACHINE DRUM

V. I. Zavgorodniy

The parameters calculation of devices' elements for multilayer rope winding on the hoisting machine drum, constructively made according to the patent №2205148 is described. The analysis of kinematic laying wraps density is made; the coefficient calculation of overlapping wraps is given; the transit phase angle of intermediate wave concept and the place of wave exit to a drum flanges in transitional zone of winding cabal are given.

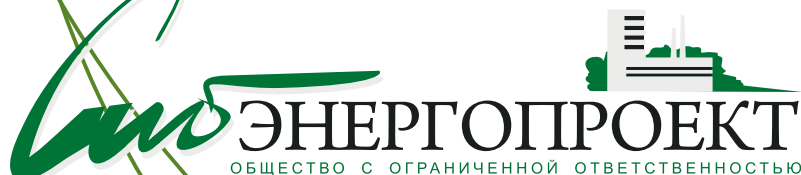
Key words: WINDING ARRANGEMENT, MULTILAYER WINDING, CABLE, CABLE DRUM, FLANGES, TRANSITION SECTION, CONVERGENT FILM, PACKAGING TURN'S DENSITY, TRANSITIONAL TURN, ANGULAR DISPLACEMENT, WAVE

Завгородний Виктор Иванович
e-mail: uusers1060@mail.ru

ООО «СИБЭНЕРГОПРОЕКТ»

ООО «Сибэнергопроект» находится в стадии активного развития и наращивания объёмов проектирования. На сегодняшний день в организации имеется всё необходимое программное обеспечение, допуск СРО, а также профессиональный штат сотрудников в количестве 30 человек, способный решить задачи любой сложности. Приоритетными направлениями компании являются реализация комплекса работ «под ключ» и проектирование особо опасных и технически сложных производственных объектов капитального строительства.

Кемерово ул. Чкалова, 10
8(384-2) 36-01-87 / office.sep@mail.ru



Д. А. Трубицына

директор ООО «ЦОТ-Горный»

А. А. Анисимов

эксперт ООО «НИИ ГП»

Д. С. Хлудов

директор ООО «ВостЭКО»

С. В. Оленников

заместитель директора ООО «ВостЭКО»

Н. В. Трубицына

д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе ООО «ВостЭКО»

УДК 622.411.514

РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ ПО СЕТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В статье приведены результаты шахтных исследований дисперсного состава отложившейся угольной пыли и интенсивности пылеотложений по сети горных выработок.

Ключевые слова: ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ, УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ, ВЫХОД ФРАКЦИЙ

Известно, что основными факторами, определяющими взрывчатые свойства угольной пыли, являются ее дисперсный состав, выход летучих веществ, содержание золы и влаги [1]. К пылевзрывоопасным относятся все пласты угля с выходом летучих веществ 15 % и более, угли (кроме антрацитов) с меньшим их содержанием должны подвергаться лабораторным испытаниям на взрывчатость пыли. Наиболее легко взрывается пыль с содержанием летучих 17–32 %. При этом взрывчатые свойства угольной пыли с увеличением содержания золы и влажности снижаются, однако максимальной взрывчатой способностью обладает пыль в диапазоне 10–100 мкм, т. е. взрывчатость угольной пыли повышается с увеличением степени дисперсности. Поэтому в шахте по мере удаления от источника пылеобразования пыль становится потенциально более взрывоопасной.

Комплексные исследования по установлению реальной интенсивности пылеотложений в угольных шахтах России не проводились несколько десятилетий. За это время произошли коренные преобразования в технологическом обеспечении очистных и проходческих забоев,

а также значимо изменились скорости их продвижения и производительность труда. Все эти факторы, безусловно, должны были значительно повлиять на состояние пылевзрывозащиты угольных шахт. Отметим, что нормативные параметры мероприятий по ее осуществлению также не пересматривались уже более двадцати лет.

В связи с этим в 2011–2012 гг. на угольных шахтах Кузбасса был проведен ряд исследований, основной целью которых являлось определение интенсивности пылеотложений по сети горных выработок угольных шахт, а также осуществление дисперсного анализа проб отложившейся угольной пыли.

Методика исследований.

1. В течение пяти суток проводился отбор проб на подложки, которые устанавливались ежесуточно в конце 1-й смены после проведения осланцовочных мероприятий.

2. Установка подложек осуществлялась в выработке с исходящей струей воздуха из очистного забоя (по 10 через каждые 10 метров от лавы, на остальном протяжении выработки – 10 подложек через каждые 100 метров).

3. Отобранные пробы взвешивались и

упаковывались для последующего анализа дисперсного состава.

4. Определение гранулометрического состава образцов углей крупностью +0,1 мм проводилось ситовым методом по ГОСТ 2093-82 [2], крупностью менее 0,1 мм – лазерным методом на дифракционном микроанализаторе размера частиц «Analyzette 22 COMPACT».

5. Ежедневно производилась регистрация следующих параметров:

- количество воздуха, проходящего по выработке;
- скорость воздуха в месте установки подложки;
- нагрузка на лаву за смену.

Также снимались показания датчика ИЗСТ,

установленного в 20 м от лавы и геометрические параметры выработки в месте установки подложки.

6. Отбиралась проба угля для определения влажности массой 1,5–2 кг.

7. Отбиралась проба угля из-под комбайна массой 1,5–2 кг.

8. Рассчитывалась величина интенсивности пылеотложений в соответствии с «Инструкцией по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли» [3].

Наиболее полный комплекс исследований был проведен на трех шахтах: Алексиевская (лава 218), Заречная (лава 1305), им. С. М. Кирова (лава 25-93). Коротко приведем его результаты (табл.).

Таблица – Средние значения выхода фракций отложившейся угольной пыли по длине выработок (по результатам анализа проб с подложек)

Расстояние от лавы, м	Выход фракций, % размером, мкм						
	0–2	2–5	5–10	10–20	20–40	40–80	80–160
Шахта Алексиевская, уголь марки Д							
30	0,12	4,82	14,92	30,47	31,65	16,41	1,63
40	0,12	5,09	17,48	34,31	29,66	11,15	2,21
50	0,11	4,21	15,93	36,47	32,82	9,46	1,02
60	0,14	5,05	17,81	39,99	26,8	6,39	3,83
70	0,15	6,03	20,37	39,19	27,88	6,07	0,32
80	0,14	5,42	18,75	40,19	28,67	4,69	2,16
90	0,14	4,96	17,92	38,07	30,58	7,51	0,83
100	0,13	5,59	20,01	39,74	24,13	5,18	5,22
110	0,1	4,89	18,26	37,28	27,46	8,65	3,37
120	0,11	5,06	19,6	39,51	27,38	5,4	2,78
170	0,16	7,3	27,53	46,24	15	1,96	1,83
220	0,19	8,89	30,23	43,27	12,16	2,62	2,65
270	0,13	8,13	30,52	45,39	11,26	1,9	2,68
320	0,16	8,45	33,29	46,05	8,3	2,53	1,24
370	0,21	10,79	40,63	39,46	6,58	1,9	0,43
420	0,17	10,27	38,62	39,37	5,5	3,77	2,3
470	0,22	11,49	34,69	29,7	8,57	8,77	6,56
520	0,22	11,35	35,2	34,46	9,3	5,16	4,31
570	0,27	16,17	43,84	30,09	3,64	3,18	2,82
620	0,35	15,43	44,28	33,18	3,78	2,15	0,83
Шахта им. С. М. Кирова, уголь марки Г							
30	0,64	3	5,58	14,83	37,08	34,96	3,91
40	0,98	3,74	6,79	17,67	34,53	29,41	6,88
50	1,4	3,85	6,94	18,62	36,54	28,35	4,29
60	0,18	4,39	9,9	23,13	34,96	23,15	4,29
70	0,14	3,28	7,95	21,37	56,51	24,95	4,56
90	0,11	2,88	7,45	21,6	33,51	20,68	13,78

Окончание табл.

Расстояние от лавы, м	Выход фракций, % размером, мкм						
	0–2	2–5	5–10	10–20	20–40	40–80	80–160
100	0,15	4,39	8,76	21,37	37,2	25	3,15
110	0,19	4,36	10,05	28,67	38,14	16,79	1,81
120	0,1	3,36	8,53	23,09	37,7	20,72	6,5
220	0,25	6,0	15,02	35,09	33,74	9,36	0,55
320	0,27	6,29	17,4	38,99	30,67	5,83	0,56
420	0,41	10,26	21,55	36,99	25,78	5,01	0
620	0,28	7,07	21,71	45,1	21,46	3,61	0,78
720	0,26	8,21	25,42	43,28	18,95	3,45	0,43
820	0,31	7,61	24,14	45,93	19,42	2,59	0
920	0,28	7,99	23,38	43,72	20,99	2,38	1,27
1020	0,34	9,56	27,4	40,43	12,61	4,48	5,19
1120	0,38	11,96	32,54	41,31	10,48	2,49	0,87
Шахта Заречная, уголь марки Г							
20	2,61	4,21	7,33	23,73	43,95	18,14	0,04
30	2,6	4,41	8	31,41	42,05	17,23	0,29
40	3,47	5,39	8,68	25,39	41,68	15,26	0,13
50	2,96	4,78	8,46	26,77	42,32	11,23	3,47
60	3,16	5,71	10,95	33,92	38,51	7,74	0
70	2,75	5,46	11,98	34,6	36,44	8,72	0,06
80	3,63	6,75	14,18	36,82	31,08	7,34	0,1
90	4,49	7,96	15,27	38,16	29,25	4,88	0
100	3,39	6,83	14,58	38,09	32,17	5,28	0
110	3,75	7,62	16,43	40,35	28,54	3,3	0
210	4,99	10,82	23,42	42,42	17,22	1,12	0
310	7,65	14,3	28,05	39,87	11,25	0,04	0
410	5,46	15,27	29,93	37,45	9,88	2	0
510	4,09	12,19	27,12	39,82	13,11	2,39	1,24
610	2,81	9,3	27,39	46,38	10,3	1,46	2,35
710	2,88	10,08	30,01	44,95	10,06	0,67	1,32
810	0,19	7,71	29,39	43,28	12,87	4,34	2,23
910	0,21	8,26	32,04	46,59	10,08	2,42	0,42
1010	0,25	9,59	33,53	41,43	10,6	1,92	2,69
1110	0,26	8,3	27,41	40,94	14,19	4,72	4,18

Во взрыве угольной пыли принимают участие частицы от мельчайших (диаметром 0,001–0,1 мкм) до составляющих в диаметре 75–1 000 мкм [4]. С увеличением степени дисперсности и удельной поверхности взрывчатость угольной пыли непрерывно возрастает; основным носителем взрывчатых свойств угольной пыли являются фракции размером менее 75 мкм. Максимум взрывчатости наблюдается при диаметре фракции < 10 мкм, затем вследствие аутогезии мелких частиц взрывоопасность угольной пыли снижается. Таким образом, по мере удаления от

источника образования пыль становится более взрывоопасной, поскольку возрастает степень ее дисперсности [5].

В качестве примера на рисунке 1 приведены графики распределений угольной пыли по фракциям при разной удаленности места отбора проб от источника пылевыведения.

При удалении от забоя в пробах пылеотложений преобладают тонкие фракции, т. е. с изменением технологии добычи угля и увеличением нагрузок на очистные забои характер распределений фракционного состава

ва не претерпел существенных изменений. Результаты анализа распределений средних значений (за весь период измерения пылеотложений в данной точке изменялись от трех до шести дней) весовой доли фракций размером 2, 5, 10, 20, 40 и 80 мкм приведены на рисунках 2–4.

Вблизи источника пылевыведения на расстоянии до 50 м от забоя максимум распределения фракций находится в диапазоне размеров частиц 28–32 мкм, их весовая доля составляет около 9 %; на расстоянии 60–200 м – максимум приходится на частицы размером 15–20 мкм (7,5–9 %); более 300 м – 10–14 мкм (6–6,5 %) (рис. 1).

Доля фракции крупностью до 2 мкм практически не изменяется на всем протяжении горной выработки и составляет около 1 % во всех точках отбора проб (сплошные кривые на рис. 2) для шахт Алексиевская и им. С. М. Кирова. В местах отбора проб шахты Заречная на расстоянии до 310 м наблюдалось некоторое повышение (до 7 %) доли этой фракции.

Весовая доля фракций 2–5 мкм (рис. 3) характеризуется увеличением на расстоянии до 600 м (10–16 %), и далее по выработке остается практически неизменной (7–10 %).

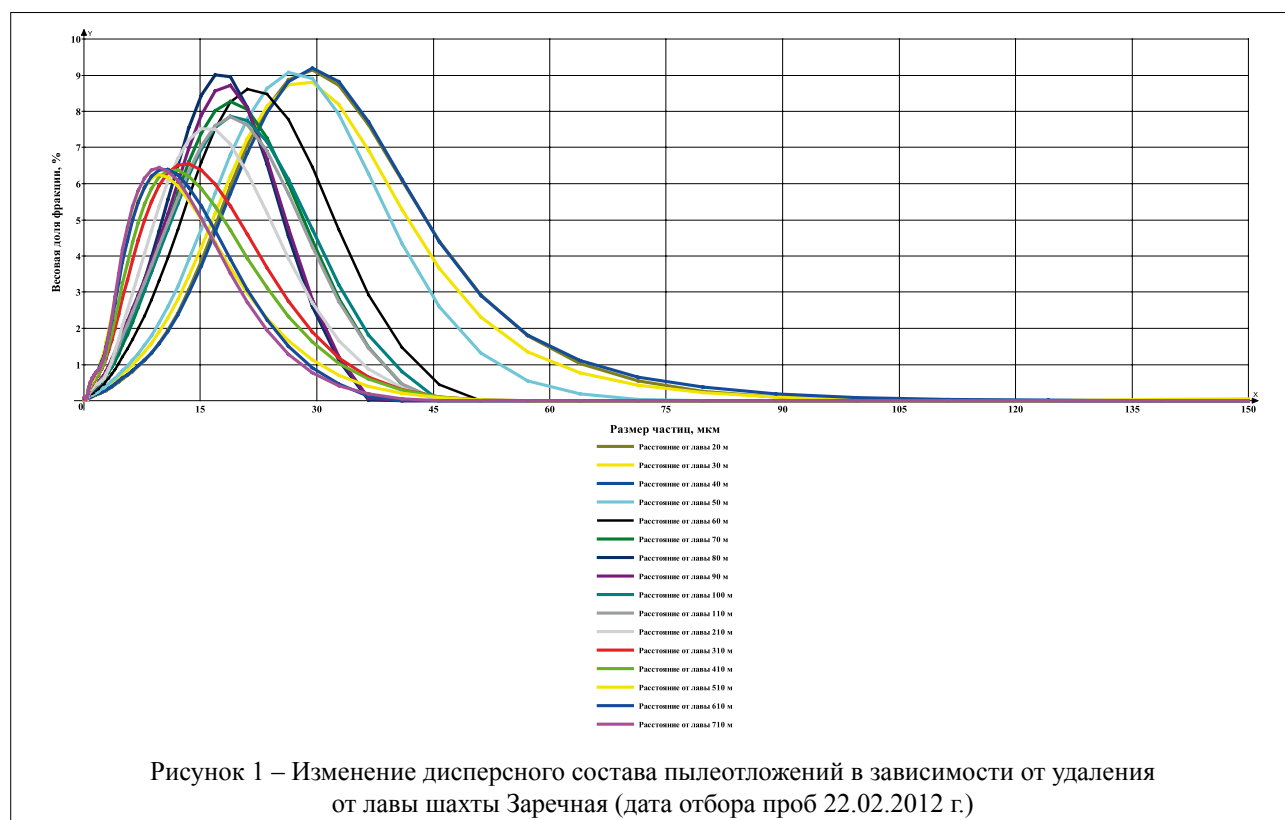
Фракции крупностью 5–10 и 10–20 мкм равномерно увеличиваются по содержанию в пробе с удалением от источника пылевыведе-

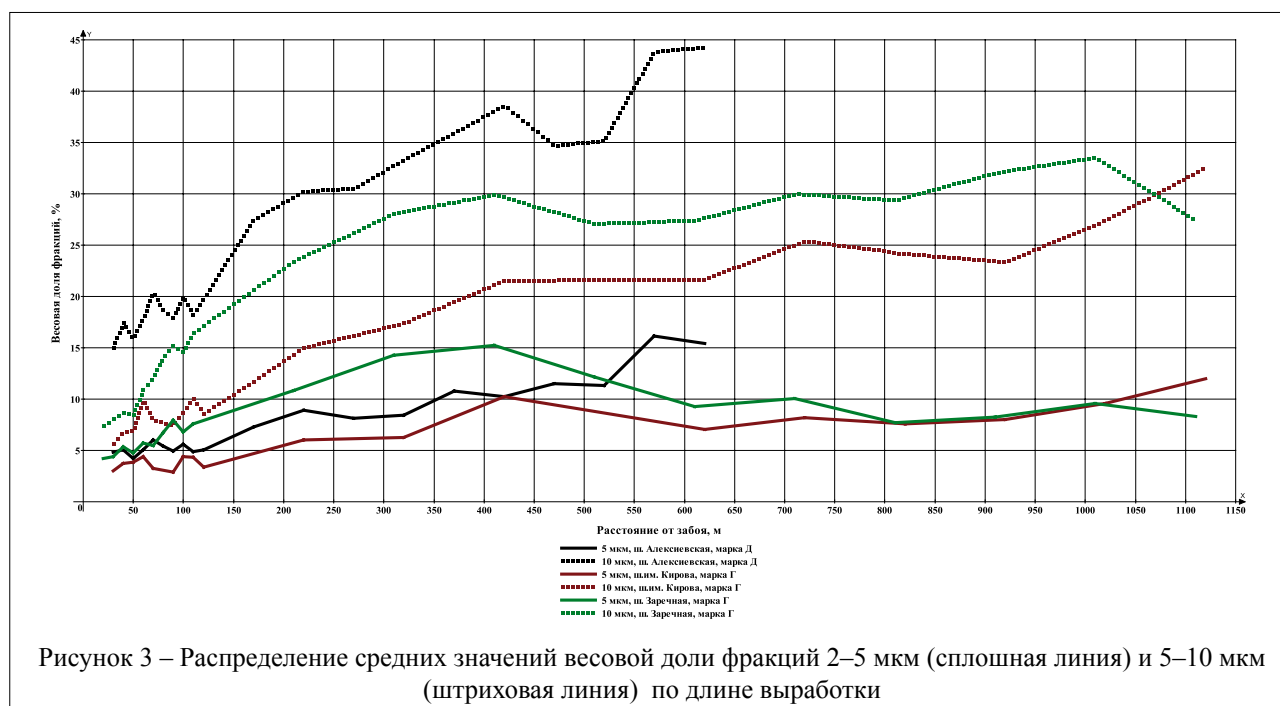
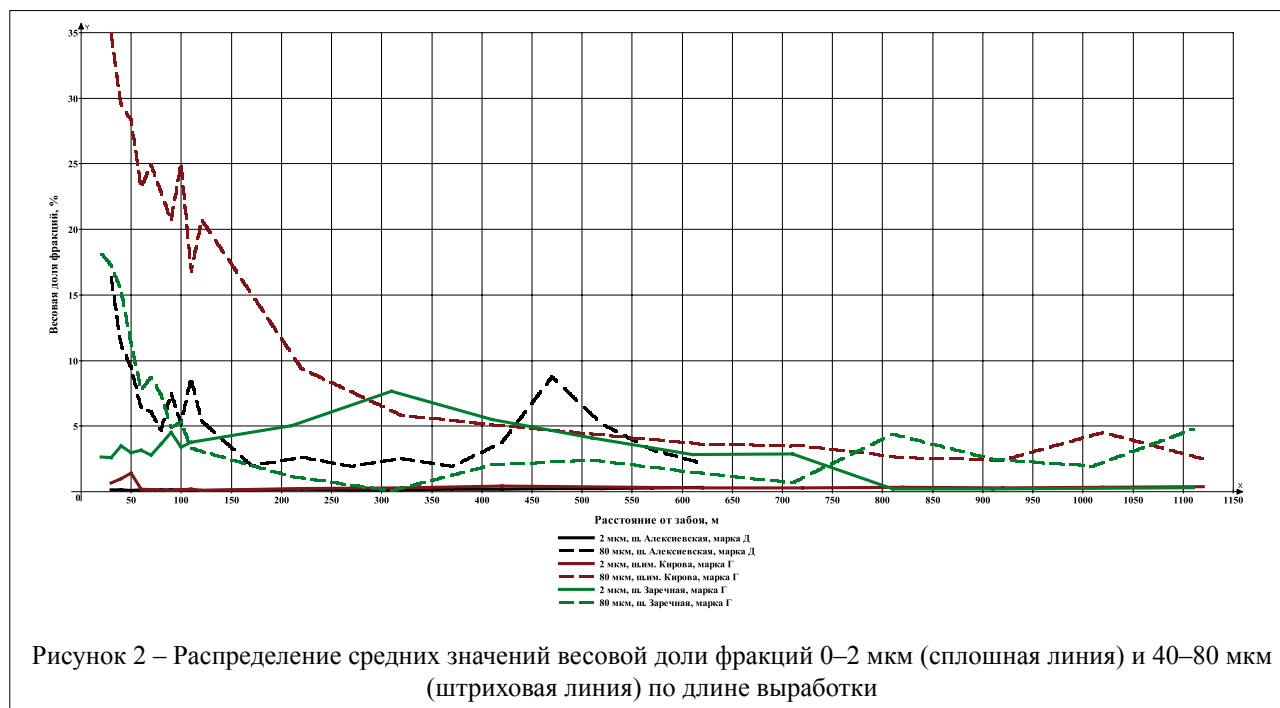
ния до 33–45 % (рис. 3) и 45–47 % (рис. 4) соответственно.

Фракции крупностью 20–40 и 40–80 мкм имеют явный максимум вблизи источника пылевыведения (33–55 и 15–35 %) и имеют тенденцию к явному снижению весовой доли до 4–14 % (рис. 4) и 3–5 % (рис. 2) соответственно с расстояния 70 м.

Угольная пыль, отлагающаяся в горных выработках, по дисперсному составу является взрывчатой, причем содержание наиболее опасной по взрыву фракции (менее 75 мкм) составляет во всех полученных пробах более 90 % по массе, что никогда ранее не наблюдалось, исключая места погрузочных пунктов, где авторы многочисленных исследований получали значения до 93 %.

Проведенный анализ показал, что одними из основных факторов, влияющих на пылевзрывоопасное состояние горных выработок, являются интенсивность пылеотложений и дисперсный состав угольной пыли, которые при увеличении нагрузок на очистные забои приобретают решающее значение. На рисунке 5 приведены результаты расчета интенсивности пылеотложений, проведенного после обработки всех проб (средние показатели за весь период наблюдений на трех шахтах). При этом средние нагрузки на забои лав были следующими:





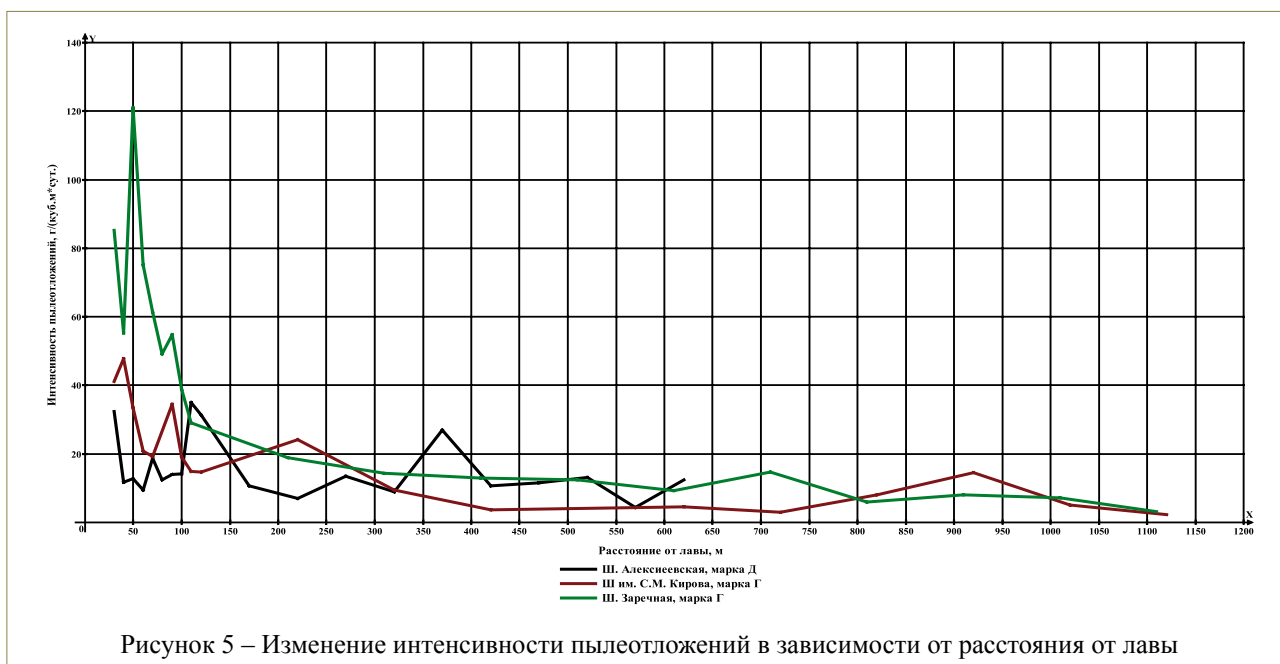
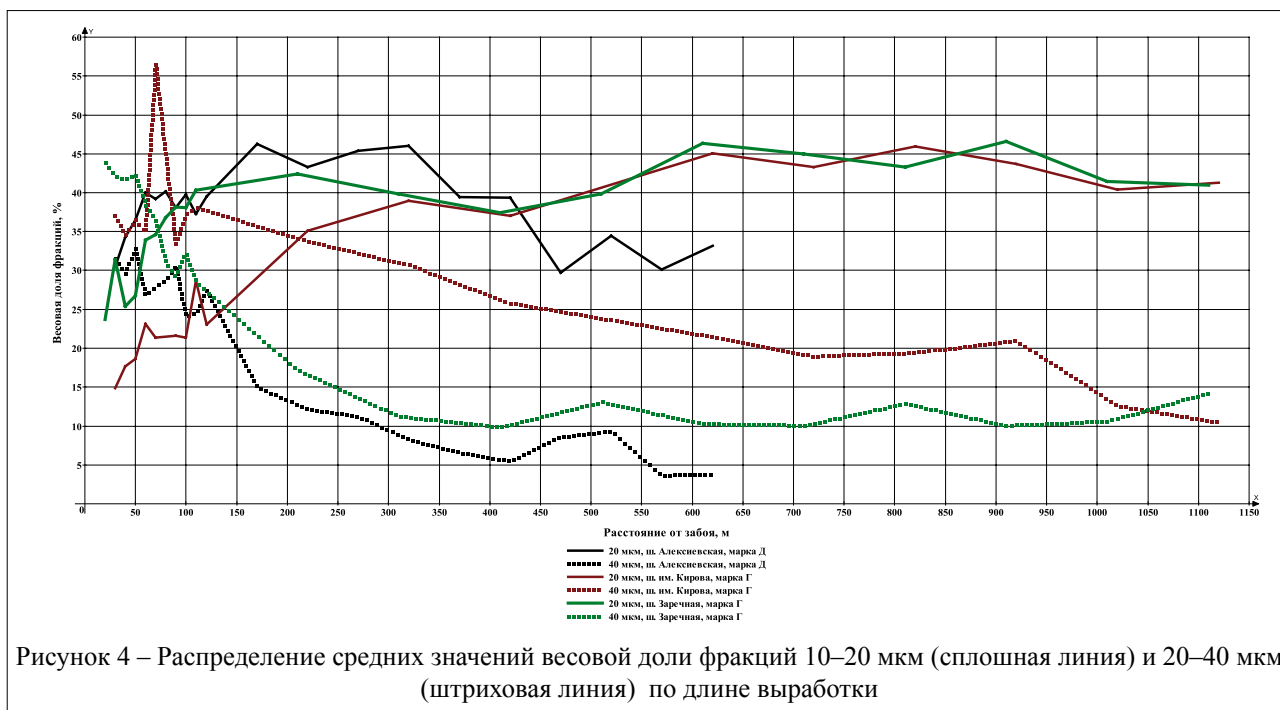
- шахта Алексиевская – 1,6 тыс. т.;
- шахта им. С. М. Кирова – 5,1 тыс. т.;
- шахта Заречная – 7,8 тыс. т.

Таким образом, в результате проведенных шахтных исследований установлено следующее.

При современных нагрузках на очистные забои резко возрастает общее поступление тонких фракций в атмосферу и интенсивность отло-

жения в горных выработках угольной пыли.

Интенсивность пылеотложений по длине выработки уменьшается с удалением от лавы. При этом максимум пылеотложений (50–120 г/м³*сут.) находится на расстоянии до 100 м от лавы, и далее идет равномерное его снижение до 8–20 г/м³*сут. При таких значениях интенсивности пылеотложений выработка переходит во взрывоопасное состояние уже через несколько часов работы по выемке угля.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брюханов, Л. М. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / Л. М. Брюханов [и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – Т. 1. – 548 с.
2. ГОСТ 2093-82. Топливо твердое. Ситовой метод определения гранулометрического состава. – Режим доступа : <http://ohranatruda.ru/>
3. Правила безопасности в угольных шахтах. Инструкции по борьбе с пылью и пылевзрывозащите // Инструкция по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли – Липецк, 1999. – С. 34–105.
4. Айруни, А. Т. Взрывоопасность угольных шахт / А. Т. Айруни, Ф. С. Клебанов, О. В. Смирнов. – М.: Горное дело, 2011. – 264 с.
5. Петрухин, П. М. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / П. М. Петрухин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 271 с.

RESULTS OF UNDERGROUND INVESTIGATIONS OF THE INTENSITY OF THE DUST DEPOSIT IN MINE ROADWAY NETWORK

D. A. Trubitsyna, A. A. Anisimov, D. S. Hludov, S. V. Olennikov, N. V. Trubitsyna

Results of underground investigations of the disperse structure and intensity of the dust deposit in mine roadway network are given.

Key words: SIZE-CONSIST, INTENSITY OF DUST DEPOSIT, COAL DUST, GRADE YIELD

*Трубицына Дарья Анатольевна
e-mail: dtrubitsyna@me.com*

*Анисимов Антон Анатольевич
e-mail: anisimov_kem@mail.ru*

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

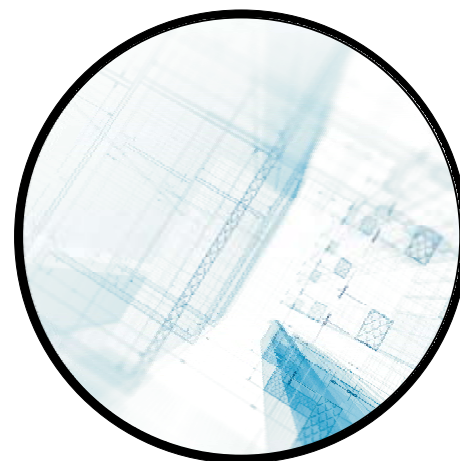
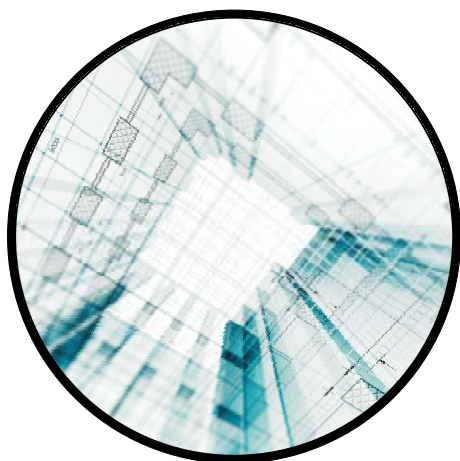
*Оленников Сергей Васильевич
e-mail: vosteko@inbox.ru*

*Трубицына Нэля Вадимовна
e-mail: ntrubitsyna@rambler.ru*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКСПЕРТИЗА И БЕЗОПАСНОСТЬ

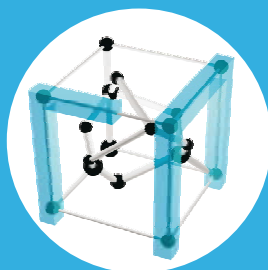
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

НИИГП

ТЕЛ./ФАКС 8(3842) 77-86-61



Г. КЕМЕРОВО, УЛ. СОСНОВЫЙ
БУЛЬВАР 1, К. 415.

niigp42.ru

С. А. Прокопенко

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

В. С. Лудзиш

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

УДК 622.65.011

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Представлены методологические подходы к оценке промышленной безопасности горно-шахтного оборудования и их влияние на качество экспертизы. Разработаны уровни достоверности и надежности экспертизы. Предложен показатель и уровни качества экспертизы промышленной безопасности горно-шахтного оборудования, что позволяет ранжировать экспертное сообщество.

Ключевые слова: БЕЗОПАСНОСТЬ, ОБОРУДОВАНИЕ, ЭКСПЕРТИЗА, КАЧЕСТВО, ПОКАЗАТЕЛЬ, УРОВЕНЬ

В рамках проводимого исследования термин «качество экспертизы» понимается как обобщающая характеристика двух показателей: достоверность и надежность. Достоверность экспертизы оценивается соответствием заключения эксперта истинному состоянию объекта. Истина, по определению философа Хайдеггера, есть вскрытая потаенность вещи. Надежность экспертизы определяется стабильностью получения истинных результатов или вероятностью (риском) получения ошибочного результата. Следует различать:

- качество конкретной экспертизы, которое оценивается только достоверностью;
- качество экспертных услуг организации (эксперта), которое оценивается достоверностью и надежностью.

На достоверность экспертизы оказывают влияние как личностные качества эксперта (компетенция, ответственность, принципиальность), так и организационные факторы (методическая и техническая оснащенность, отсутствие административных воздействий, отпущенное на экспертизу время). Существуют два методологических подхода к оценке безопасности горно-шахтного оборудования (ГШО), а, следовательно, к проверке достоверности экспертизы:

- формальный – экспертиза устанавливает соответствие (несоответствие) объекта требованиям нормативных документов, которые носят усредненный характер, быстро устаревают

и нередко расходятся с реальным состоянием безопасности объекта;

– сущностный – экспертиза устанавливает соответствие (несоответствие) нынешним и предстоящим горно-геологическим и горно-техническим условиям эксплуатации оборудования.

Ущербность и недостаточность применяемого в настоящее время первого подхода подтверждаются продолжающимися несчастными случаями даже на передовых, соответствующих нормативным требованиям шахтах. Неудовлетворительность такой экспертизы осознана научной общественностью и критикуется. Как пишут авторы: «...сама методология экспертизы проектных решений основана исключительно на требовании обеспечивать соответствие проектных решений нормативным документам, которые безнадежно устарели, «вчерашний день». Проектировщик вынужден не изыскивать безопасные и рациональные, а подбирать из нормативных документов известные, часто устаревшие и тем неадекватные решения» [1]. Кроме того, необходимо помнить, что «...все технические и технологические решения по строительству и эксплуатации шахт выбираются при условии их соответствия не реальным геологическим особенностям, а их геолого-разведочным моделям, обладающим погрешностями. Ошибочная или недостоверная геолого-разведочная информация влечет принятие неверных и промышленно

опасных технических решений» [2].

Некоторые руководители Ростехнадзора признают ущербность нынешней формальной методологии, отмечая завышенность существующих в ней требований. Они пишут: «В настоящий момент существует масса нормативных документов, правил и требований, регламентирующих область безопасности производства. В нормативных документах приведены требования, которые, по словам специалистов, иногда искусственно завышены в несколько раз, т. е. технологический процесс на предприятии при соблюдении всех предписанных документами норм становится заведомо неосуществимым с позиций экономической эффективности, и фактически производство работает с нарушениями. Для выхода из такой ситуации необходимо перестраивать область управления промышленной безопасности, исходя из реалий...» [3].

Специалисты ОАО НЦ «ВостНИИ» отмечают, что используемые организационно-технические решения в отношении средств и способов обеспечения промышленной безопасности угольных шахт во многом устарели и не соответствуют современному уровню развития техники и технологии работ по выемке и транспортировке угля. Сложившиеся требования нормативных документов по обеспечению пылевзрывобезопасности, газозащиты, вентиляции, защиты выработок от возникновения эндогенных пожаров, крепления выработок и т. п. не соответствуют современному уровню развития техники

и технологии угледобычи: многооперационны, трудоемки, неэффективны. По многим направлениям требуется безотлагательное обновление методических пособий и нормативных требований на методологическом уровне [4].

Однако, формальный подход легче в реализации, он давно применяется, разработан, освоен. Его изменение первоначально требует обновления методологии экспертирования промышленной безопасности шахт в целом и горного оборудования в частности.

Второй подход сложнее в реализации, требует, наряду с новой методологией и другой технологией экспертирования, научные основы которой предстоит разработать. Для реального повышения уровня промбезопасности горношахтного оборудования (ГШО) и действительного снижения аварийности в российских шахтах данную технологию следует рассматривать как второй этап, дополняющий первый.

На этапе сущностной оценки достоверности экспертизы промышленной безопасности ГШО предлагается ввести следующие уровни (табл. 1).

Стабильность получения результатов, соответствующих истинному состоянию промышленной безопасности шахтного оборудования, определяется многими факторами, основные из которых: компетенция эксперта, его методическая и техническая вооруженность, психологическая устойчивость. Надежность экспертизы предлагается определять по данным таблицы 2.

Таблица 1 – Уровни достоверности экспертизы промбезопасности ГШО

Уровень	Характеристика уровня	Оценка, баллы
1	Эксплуатация ГШО полностью подтверждает заключение экспертизы	5
2	Эксплуатация ГШО в основном подтверждает заключение экспертизы	4
3	Эксплуатация ГШО наполовину подтверждает заключение экспертизы	3
4	Эксплуатация ГШО в основном не подтверждает заключение экспертизы	2
5	Эксплуатация ГШО опровергает заключение экспертизы	1

Таблица 2 – Уровни надежности экспертизы промбезопасности ГШО

Уровень	Характеристика уровня	Вероятность получения истинного результата, %	Оценка, баллы
1	Стабильное получение истинных результатов (из 10 – 10 истинных!)	95–100	5
2	Высокое получение истинных результатов (из 10 – 8 истинных!)	80–94	4
3	Неустойчивое получение истинных результатов (из 10 – 6-7 истинных!)	60–79	3
4	Редкое получение истинных результатов (из 10 – 4-5 истинных!)	40–59	2
5	Случайное получение истинных результатов (из 10 – 2-3 истинных!)	<40	1

Для прогнозирования уровней достоверности и надежности экспертизы промбезопасности ГШО и принятия управленческих решений по снижению риска можно воспользоваться соотношением компетенции эксперта (субъекта) со сложностью и опасностью обследуемого оборудования (объекта), как это показано на рис. 1.

Используя рисунок 1 руководитель экспертной организации уже на этапе подписания контракта с шахтой может прогнозировать надежность результатов экспертизы. Прогнозирование уровней надежности экспертизы горного оборудования позволяет принимать решения по управлению процессом и недопущению нежелательных результатов (табл. 3).

Таблица 3 – Необходимые управленческие решения по уровням надежности эксперта

Уровень надежности эксперта	Необходимые управленческие действия
1 Гарантированный	Не требует участия и контроля руководителя экспертной группы (ЭГ)
2 Высокий	Требует периодического контроля за экспертизой руководителя ЭГ
3 Неустойчивый	Требует постоянного контроля за экспертизой руководителя ЭГ
4 Редкий	Требует участия в экспертизе руководителя ЭГ
5 Случайный	Требует отстранения эксперта и замены его

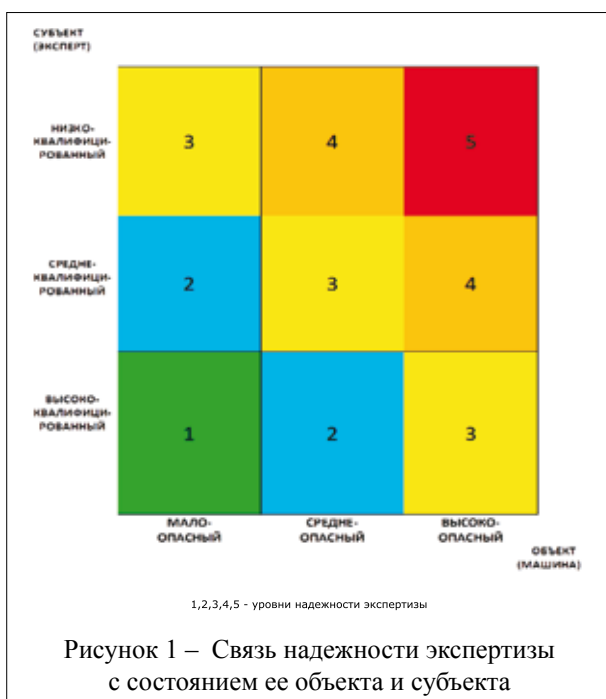


Рисунок 1 – Связь надежности экспертизы с состоянием ее объекта и субъекта

Полученные результаты позволяют подойти к разработке критериев и уровней качества экспертизы промышленной безопасности горношахтного оборудования.

В качестве критерия предлагается ввести индекс качества экспертизы (Икэ), рассчитываемый по формуле:

$$Икэ = D \times H, \quad (1)$$

где D – достоверность экспертизы, баллы;
 H – надежность экспертизы, баллы.

Значения индекса $Икэ$ могут изменяться в диапазоне от 0 до 25, отражая различное качество экспертизы. По характерным значениям $Икэ$ могут быть установлены уровни качества экспертизы. Наглядное представление уровней качества дает матрица (рис. 2).

Критерии уровней качества экспертизы промбезопасности представлены в таблице 4. Выделены уровни качества: эталонный, высокий, средний, низкий и опасный.

Применение разработанных критериев качества экспертиз позволяет, например, управлению Ростехнадзора той или иной территории, дифференцировать экспертное сообщество региона. Появляется возможность обоснованного определения лидеров экспертных услуг, середняков, аутсайдеров.

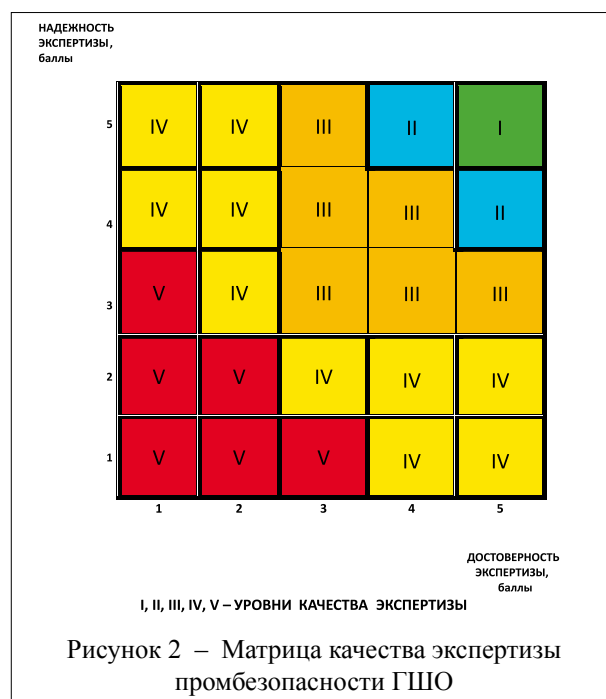
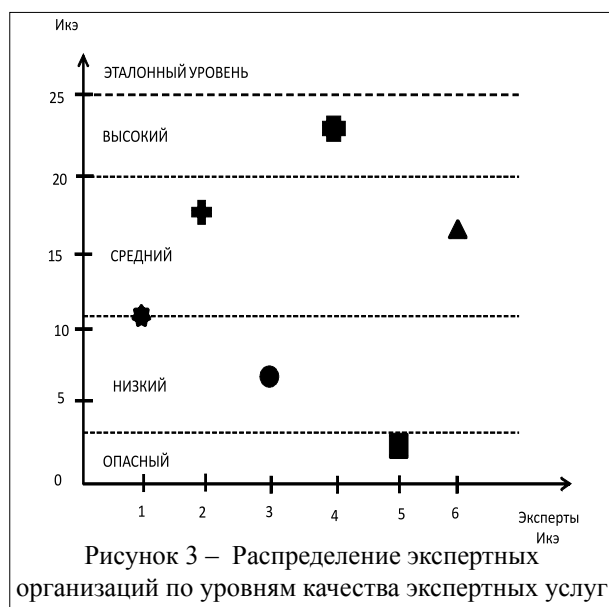


Рисунок 2 – Матрица качества экспертизы промбезопасности ГШО

Таблица 4 – Критерии уровней качества экспертизы

№	Уровень качества	Показатели качества		Значения индекса Икэ	Критерии уровня качества (диапазон/среднее значение)
		Достоверность, баллы	Надежность, баллы		
1	Эталонный	5	5	25	25/25
2	Высокий	5	4	20	20/20
		4	5	20	
3	Средний	5	3	15	9–16/12,5
		4	3–4	12–16	
		3	3–5	9–15	
4	Низкий	5	3	15	4–15/9,5
		4	3	12	
		3	3	9	
		2	3–5	6–10	
		1	4–5	4–5	
5	Опасный	3	1	3	1–3/2
		2	1–2	2–4	
		1	1–3	1–3	



Пример возможного распределения экспертов региона (экспертных организаций) по уровням качества экспертных услуг показан на рисунке 3.

Таким образом, разработанные положения формируют научные основы метода оценки качества экспертизы промышленной безопасности горно-шахтного оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Квагинидзе, В. С. Состояние и причины аварийности, травматизма и профзаболеваемости на предприятиях по добыче и переработке угля Кузбасса / В.С.Квагинидзе, В.С.Смирнов, В.А.Черкасов // Промышленная безопасность и охрана труда: Мат-лы Междунар. научно-практ. конф-и. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: Издательство «Горная Книга». – 2012. – № 06. – С.173–190.
2. Шаклеин, С. В. Направления совершенствования российской системы оценки достоверности запасов твердых полезных ископаемых в контексте обеспечения безопасности горных работ/ С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление – 2010.– № 6. – С. 19–24.
3. Перепелицын, А. И. Комплексная система управления промышленной безопасностью и оценка рисков на горнодобывающих предприятиях / А. И. Перепелицын, Е. Е. Китляйн, Д. А. Клебанов // Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 82–84.
4. Павлов, А.Ф. Направления развития безопасности угольных шахт / А. Ф. Павлов, А. М. Тимошенко, С. И. Голоскоков, Д. В. Никифоров, А. В. Сурков // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2012. – № 2. – С.136–140.

*THE QUALITY RESEARCH OF
INDUSTRIAL SAFETY OF MINING EQUIPMENT*

S. A. Prokopenko, V. S. Ludzish

Methodological approaches to the assessment of industrial safety of the mining equipment and their impact on the quality of the expertise are presented. Levels of accuracy and reliability are developed. The rate and quality levels of industrial safety of mining equipment that allows to rank the expert community are offered.

Key words: SAFETY, EQUIPMENT, EXPERTISE, QUALITY, RATE, LEVEL

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

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

Б. А. Гриценко

аспирант кафедры Новокузнецкого института (филиал) ФГБОУ ВПО «КемГУ»

УДК 622.457.2

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ АЭРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Описывается методология решения задач об идентификации аэромеханических параметров шахтных вентиляционных трубопроводов. Определена роль математического моделирования в исследовании и решении. Предложены этапы решения задач.

Ключевые слова: ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ, АЭРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Гибкий вентиляционный трубопровод для проветривания подготовительных выработок шахт является сложным аэромеханическим объектом со следующими особенностями:

– тело труб может деформироваться под действием внутреннего давления воздуха; в связи с чем его аэродинамическое сопротивление уменьшается, увеличивая доставку воздуха к забою;

– стыки и тело труб допускают утечки воздуха; из-за этого доставка воздуха к забою уменьшается;

– закономерности движения воздуха по деформируемому трубопроводу с утечками изучены недостаточно;

– не определены аэромеханические параметры шахтных вентиляционных трубопроводов в ходе их эксплуатации, что необходимо для достоверного расчета системы «вентилятор – трубопровод» [1].

Работа системы «вентилятор – трубопровод» требует периодической «настройки» по факту состояния проветривания: требуется переход на новый режим работы вентилятора местного проветривания (ВМП), замена или переход на другие вентиляционные трубы, уплотнение стыков и другие, более кардинальные изменения [2, 3]. Для того чтобы прогнозировать поведение системы, необходимо определить аэродинамические и необходимые механические характеристики труб на основе математического моделирования движения воздуха по трубопроводу или в реальных условиях проходки – это и есть идентификация аэродинамических параметров трубопровода.

Для решения этой крупной задачи необходима поэтапность работы. Вначале следует составить и реализовать математические модели движения воздуха по трубопроводу с распределенными утечками с учетом его деформируемости. Решение данной задачи позволяет определить безразмерные переменные, формирующие необходимые результаты для последующего определения аэромеханических параметров [4]. Затем предлагается собственно методика идентификации аэромеханических параметров трубопровода.

Отметим, что действующие в настоящее время нормативные документы: «Руководство по проектированию проветривания угольных шахт» и «Руководство по проектированию и организации проветривания подготовительных выработок действующих угольных шахт» – не решают рассматриваемых задач.

Математическое моделирование движения воздуха по трубопроводу

Дифференциальное уравнение, определяющее закономерности движения воздуха по трубопроводу, базируется на использовании уравнения Бернулли, составленного для условной трубки тока [2, 3], учета деформируемости тела труб и утечек воздуха через стыки. После его дифференцирования и приведения к безразмерному виду получаем уравнение [4]:

$$2 \frac{dy}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} \approx \frac{\beta y}{(1 + \alpha y^2)^5} \quad (1)$$

Начальные условия для решения уравнения: $y(0) = 1$, $dy/dt(0) = 0$.

Здесь приняты следующие обозначения:
 $y = Q/Q_0$, $t = x/L$,
 где L – длина трубопровода;
 x – текущее расстояние от забоя;
 Q_0 – расход воздуха у забоя;
 Q – расход воздуха в трубопроводе;
 Безразмерные параметры α и β определяются по следующим формулам:

$$\alpha = (1-\nu) \frac{d_0 r_0 Q_0^2 L}{4E\delta}; \quad \beta = \frac{\pi d_0 l_{3\epsilon} r_0 L^3}{r_{cm}}. \quad (2)$$

где ν – коэффициент Пуассона для трубного материала, равен, примерно, 0,25;
 δ – толщина стенок труб, м;
 E – модуль Юнга трубной ткани, кг/м²;
 r_0 – аэродинамическое сопротивление трубопровода единичной длины, кг·с²/м⁹;
 r_{cm} – коэффициент сопротивления путей утечек воздуха в стыке, кг·с²/м⁴;
 d_0 – диаметр труб, м;
 $l_{3\epsilon}$ – длина звена трубопровода, м.

Решением уравнения (1) и уравнения падения давления воздуха в трубопроводе [2], в зависимости от аэродинамических параметров вентиляционных труб, определены:

– коэффициент утечек воздуха $K_{ym} = Q_g/Q_0$, где Q_g – производительность вентилятора, м³/с; Q_0 – расход воздуха в забое (конце трубопровода), м³/с;

$$K_{ym} = \left[1 + 0,3\sqrt{\beta} \right]^3, \quad (3)$$

– падение давления воздуха в трубопроводе, p_{mp} ;

$$p_{mp}(L) = r_0 Q_0^2 L K_{ym}^{1,25} e^{-\alpha/3} \text{ кг/м}^2. \quad (4)$$

Это позволило перейти к идентификации аэромеханическим параметров.

Идентификация аэромеханических параметров вентиляционных трубопроводов

Предложено 2 метода идентификации аэромеханических параметров вентиляционных

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков, С. П. Математические модели аэромеханики шахтных вентиляционных трубопроводов. / С. П. Казаков, В. А. Федорин, В. В. Аксенов, Н. В. Трубицына // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2012. – №1. – С. 98 – 103.
2. Казаков, С.П. Проветривание подготовительных выработок угольных шахт Кузбасса / С. П. Казаков, А. М. Ермолаев, С. А. Прокопенко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 210 с.
3. Казаков, С. П. Расчет системы «Вентилятор – трубопровод» для современных средств прове-

трубопроводов: шахтный и лабораторный [2].

Шахтный способ включает продувку трубопровода воздухом в двух режимах. Впоследствии аэродинамические и механические параметры выявляются поэтапно. На первом этапе в различных режимах проветривания при условии, что расход воздуха второго режима должен быть больше чем первого, проводят расчет:

– отношения аэродинамического сопротивления воздухопровода единичной длины к модулю поперечной упругости материала воздухопровода по формуле:

$$z = \frac{r_0}{E} = \frac{5,3\delta}{d_0 L Q_2^2} \left[\frac{\ln \frac{p_1 Q_2^2}{p_2 Q_1^2}}{1 - \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{1,4}} \right]^{1,43}; \quad (5)$$

– аэродинамического сопротивления воздухопровода единичной длины по формуле:

$$r_0 = \frac{p_1}{Q_1^2 L \exp\left(\frac{-0,188 d_0 Q_1^2 L Z}{\delta}\right)^{0,7}}; \quad (6)$$

– модуля поперечной упругости материала воздухопровода по формуле:

$$E = \frac{r_0}{z}, \quad (7)$$

где δ – толщина стенок воздухопровода, м;
 d_0 – исходный диаметр воздухопровода, м;
 p_1, p_2, Q_1, Q_2 – параметры давлений и расходов первого и второго режимов работы нагнетателя воздуха, кг/м², м³/с;

L – длина воздухопровода, м.

Лабораторный метод позволяет определить модуль упругости при растяжении трубного материала [5]. На кафедре математики и математического моделирования был создан соответствующий стенд. В результате испытаний определен поперечный модуль Юнга E материала труб, который равен $1,1 \cdot 10^6$ кг/м².

тривания подготовительных выработок шахт / С. П. Казаков, Б. А. Гриценко, К. Х. Ли, В. Б. Попов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2012. – № 2. – С. 68 – 71.

4. Казаков, С. П. Дифференциальное уравнение аэромеханики гибкого деформируемого вентиляционного трубопровода / С. П. Казаков, Б. А. Гриценко // Актуальные проблемы математики и механики: материалы Всероссийской науч. конф. – Самара: Изд-во «Самарский университет». – 2013. – С. 76 – 77.

5. Казаков, С. П. Определение механических и аэродинамических параметров шахтных вентиляционных труб. / С. П. Казаков, К. Х. Ли, Б. А. Гриценко // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 11. – С. 37–38.

THE IDENTIFICATION OF AEROMECHANICS PARAMETERS OF MINE VENTILATION PIPELINES ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELING

B. A. Gritesnko

The methodology for tasks solution of aeromechanical parameters identification ventilating pipelines mine is described. The role of mathematical modeling in the research and the decision is determined. The stages of tasks solutions are proposed.

Key words: VENTILATIONPIPES, AEROMECHANIC PARAMETERS, IDENTIFICATION, MATHEMATICAL MODELING

*Гриценко Борис Александрович
e-mail: bgnkfi@gmail.com*

реклама

ПРОИЗВОДСТВО И ИНЖИНИРИНГ «ТЕРМО БСИ»

Официальный дилер ГК «Kompenz-elastic»

Профиль деятельности

Производство неметаллических
тканевых компенсаторов
Изготовление быстрьюемной
энергоэффективной
теплоизоляции

Сайт

www.termobsi.ru

Контакты

650025 Россия, Кемеровская
область, Кемерово, Чкалова, 10
тел./факс +7 (384-2) 360-187 / +7
(908) 947 44 44
e-mail: info@termobsi.ru

К. Х. Ли

инженер ОАО «НЦ ВостНИИ»

УДК 622.457.2

ТЕКУЩИЙ ПРОГНОЗ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Рассматривается состояние вопроса текущего прогноза метановыделения и параметров проветривания при проведении подготовительных выработок. Показана методология текущего прогноза. Предлагаются методы решения отдельных задач аэрогазодинамики подготовительных выработок. Дается алгоритм текущего прогноза параметров проветривания выработки.

Ключевые слова: ТЕКУЩИЙ ПРОГНОЗ, МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ, ПРОВЕТРИВАНИЕ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ

При расчетах проветривания газобильных подготовительных выработок используется следующая последовательность операций: вначале определяется метановыделение в выработку, затем находится расход воздуха, необходимый для ее проветривания, после чего выбирается вентилятор местного проветривания (ВМП), обеспечивающий этот расход. Такие расчеты необходимы для оценки возможностей проветривания выработки на максимальную длину. Фактически, длина выработки меняется от 0 до L_{max} . При этом увеличивается метановыделение в выработку и расход воздуха, необходимый для проветривания. С учетом этого фактора большинство ВМП имеют 3 режима работы: пониженный, средний и усиленный, которые должны зависеть от динамики осложнения газовой обстановки в выработке. Сложность вызывают вопросы о возможности изменения топологии трубопровода для улучшения проветривания выработки, порядке смены режимов, замене ВМП. Кроме того, нецелевая трата энергии на проветривание влечет за собой значительные потери электроэнергии. Кардинальным методом решения этих вопросов является текущий прогноз параметров проветривания при проведении подготовительных выработок и его реализация. Ниже излагается его методология и методы расчета.

Методология текущего прогноза

После проведения выработки на длину от 100 до 150 м по данным телеметрии о концентрации метана определяются параметры метановыделения из массива и отбитого угля [1, 2].

Строится прогноз состояния проветривания выработки на длину 300 м. При необходимости корректируются средства проветривания [5].

Определяются начальные аэродинамические параметры трубопровода и вентилятора [3, 4].

Строится прогноз состояния проветривания выработки на последующую длину выработки.

Возвращение к п. 1-3 при новой длине выработки (более чем на 300 м).

Решения отдельных задач аэрогазодинамики

Текущий прогноз метановыделения в выработку из отбитого угля, с обнаженной поверхности осуществляется по данным телеметрии о концентрации метана и замерам расхода воздуха в устье выработки по формуле:

$$I_B = \frac{Q_\phi}{100} \left[1,88(C_{max} - C_0) \sqrt{\frac{L}{L_\phi}} + C_0 \sqrt{\frac{L}{L_\phi}} \right], \text{ м}^3/\text{мин} \quad (1)$$

где Q_ϕ – фактический расход воздуха в выработке во время замеров концентрации метана, $\text{м}^3/\text{мин}$;

C_{max} – среднее из максимальных значений концентрации метана за период измерений, %;

C_0 – концентрация метана, обусловленная метановыделением из обнаженных поверхностей (при отсутствии отбойки и разгруженном от угля конвейере), %;

L_ϕ, L – фактическая и проектная длина выработки, м.

Первое слагаемое правой части характеризует долю концентрации за счет метановыделения из отбитого угля, второе – с обнаженных поверхностей.

Состояния проветривания выработки на длину 300 м определяется по формулам (1) и $Q_{300} = 100I_{300}$. Фактический расход воздуха в выработке должен превышать эту величину.

Начальные аэродинамические параметры трубопровода и вентилятора определяются после проведения выработки на длину 300 м по результатам работ [3, 4].

В работе [3], в зависимости от аэродинамических параметров вентиляционных труб, определены:

– коэффициент утечек воздуха $K_{ym} = Q_g/Q_o$;

где Q_g – производительность вентилятора, м³/с;

Q_o – расход воздуха в забое (конце трубопровода), м³/с;

$$K_{ym} = [1 + 0,3\sqrt{\beta}]^3,$$

где β – безразмерный параметр;

– падение давления воздуха в трубопроводе, p_{mp} ;

$$p_{mp}(L) = r_o Q_o^2 L K_{ym}^{1,25} e^{-\alpha/3} \text{ кПа/м}^2,$$

где r_o – аэродинамическое сопротивление 1 м длины трубопровода диаметром d_o , кг*с²/м⁹;

L – длина трубопровода, м;

α – второй безразмерный параметр.

Безразмерные параметры α и β следующим образом зависят от физических параметров трубопровода:

$$\beta = \frac{\pi d_o^3 j_{3\theta} r_o L^3}{r_{cm}}, \quad \alpha = (1-\nu) \frac{d_o r_o Q_o^2 L}{4E\delta};$$

где r_{cm} – коэффициент сопротивления путей утечек воздуха в стыке трубопровода и по телу звена трубы, кг*с²/м⁴;

$l_{3\theta}$ – длина звена трубопровода, м.

ν – коэффициент Пуассона для трубного материала;

δ – толщина стенок труб, м;

E – модуль Юнга трубной ткани, кг/м²;

В работах [3, 4] предложен метод расче-

та системы «вентилятор – трубопровод», где производительность вентилятора определяется формулой $Q_g = Q_o K_{ym}$, а расход воздуха в забое рассчитывается путем решения уравнения

$$r_o Q_o^2 L K_{ym}^{1,25} e^{-\alpha/3} = a - \epsilon (Q_o K_{ym})^2,$$

где a , ϵ – параметры аэродинамической характеристики вентилятора или режима его работы, указанные в монографии [4].

Параметр r_o определен исследованиями [3].

Строится прогноз состояния проветривания на последующую длину выработки. Прогноз проводится на очередной этап проведения, например 600 м. Вначале корректируются параметры средств проветривания (режимы работы ВМП) на основе перерасчетов параметров метановыделения и проветривания. Если на определенном этапе проведения выработки мощности действующего ВМП не хватает, то последовательно решается вопрос об изменении топологии трубопровода [6], наращивании установки ВМП [3], ее замене или других кардинальных мероприятиях.

Итак, текущий прогноз проветривания выработки можно представить следующим алгоритмом [5]:

1. Строится прогноз состояния проветривания выработки на первоначальную длину, например, 300 м. На начальном этапе проведения выработки, при длине от 100 до 150 м, без возникновения проблем с проветриванием, определяются аэромеханические параметры вентиляционных труб без утечек воздуха и параметры метановыделения в выработку по источникам, которые в дальнейшем корректируются.

2. По окончании первого этапа проведения выработки определяются фактические параметры метановыделения и проветривания и дается прогноз на последующие 300 м.

3. На последующих этапах проведения выработки, например через каждые 300 м, корректируются параметры средств проветривания (режимы работы ВМП) на основе перерасчетов параметров метановыделения и проветривания.

4. Если на определенном этапе проведения выработки мощности действующего ВМП не хватает, то последовательно решается вопрос об изменении топологии трубопровода [6], наращивании установки ВМП [3], ее замене или других кардинальных мероприятиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков, С. П. Текущий прогноз метановыделения в выработки при современных темпах проходки / С. П. Казаков, К. Х. Ли // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2013. – №1.1. – С. 24–28.
2. Казаков, С. П. Использование данных телеконтроля концентрации метана в выработке для текущего прогноза метановыделения / С. П. Казаков, К. Х. Ли // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2013. – №1.2. – С. 29–32.
3. Казаков, С. П. Проветривание подготовительных выработок угольных шахт Кузбасса / С. П. Казаков, А. М. Ермолаев, С. А. Прокопенко // Изд-во Томского политехнического университета, Томск. – 2013. – 210 с.
4. Казаков, С. П. Расчет системы «Вентилятор – трубопровод» для современных средств проветривания подготовительных выработок шахт / С. П. Казаков, Б. А. Гриценко, К. Х. Ли, В. Б. Попов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2012. – № 2. – С. 68–71.
5. Казаков, С. П. Оперативная оценка аэродинамических параметров вентиляционных трубопроводов и последующий прогноз проветривания подготовительных выработок / С. П. Казаков, Б. А. Гриценко, К. Х. Ли, В. Б. Попов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2012. – № 2. – С. 63–67.
6. Казаков, С. П. Аэродинамика комбинированных трубопроводов / С. П. Казаков, К. Х. Ли // Безопасность труда в промышленности, 2013. – № 2. – С. 40–41.

RECENT FORECAST OF METHANE EMISSIONS INTO WORKINGS AND VENTILATION PARAMETERS DURING THE DEVELOPMENT WORKINGS

K. Kh. Li

Recent forecast of methane emissions and ventilation parameters during the development workings are investigated. A methodology of the recent forecast is presented. The methods of solving individual issues aerogasdynamics of the development workings are suggested. The recent forecast algorithm of development workings ventilation parameters is given.

Key words: RECENT, FORECAST, METHANE, EMISSIONS, VENTILATION, DEVELOPMENT, WORKINGS

*Ли Константин Хиунович
e-mail: ncvostnii@yandex.ru*

А. Ф. Павлов

д-р техн. наук, проф., заведующий лабораторией ОАО «НЦ ВостНИИ»

В. Б. Попов

д-р техн. наук, директор ЭО ООО «Центр независимой экспертизы»

И. А. Шундулиди

д-р техн. наук

УДК 622.8

АДАПТИВНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С введением в Федеральный закон № 116 «О промышленной безопасности опасного производственного объекта» новой нормы: «обоснование безопасности опасного производственного объекта» возникла проблема её реализации. Организационным и методическим вопросам решения этой проблемы посвящается настоящая статья.

Ключевые слова: **ОБОСНОВАНИЕ, СОПРОВОЖДЕНИЕ, ЗАЩИЩЕННОСТЬ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОГО АКТА**

Об актуальности

В соответствии с Федеральным законом № 22 от 4 марта 2013 г. в статью 3 ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасного производственного объекта» вводится новая норма: «обоснование безопасности опасного производственного объекта», которая разрабатывается в следующих случаях:

– при отступлении от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности или нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, подлежащими обязательному исполнению до дня вступления в силу указанных федеральных норм и правил;

– при неудовлетворенности данными требованиями или требования не установлены [1].

Актуальность отступления от требований промышленной безопасности, установленных для опасного производственного объекта федеральными нормами и правилами, как и пополнение таких требований при их недостаточности или отсутствии для «эксплуатации, капитального ремонта, консервации и ликвидации», присутствует повсеместно, а в горном деле существо-

вала практически всегда, к тому же по нескольким обстоятельствам.

Во-первых, любые правила и нормы – это типовые решения, а разнообразие природных и производственных условий делает многие производственные объекты уникальными, для которых наиболее рациональными по безопасности и эффективности могут представляться не типовые, а индивидуально разработанные для них требования промышленной безопасности.

Любые типовые решения нередко плохо вписываются в те или иные конкретные условия. В таких случаях с позиций обеспечения и безопасности, и эффективности производства требуется их корректировка. Это вынуждает хозяйствующих субъектов обращаться в федеральные органы государственного надзора за разрешениями на подобные отступления.

Во-вторых, новая техника и технология, как правило, вносит новую организацию труда и новые производственные отношения, что требует обновления организации управления, в том числе в области требований промышленной безопасности опасных производственных объектов.

Проблема отступления от требований промышленной безопасности, установленных

для опасного производственного объекта федеральными нормами и правилами, также как и пополнение таких требований при их недостаточности или отсутствии в горном производстве присутствие-вала всегда. Современная действительность отличается от прошлого лишь обострением актуальности данной проблемы, что обусловлено возросшей интенсивностью горных работ и динамикой происходящих изменений в условиях функционирования и развития горного производства.

Трудности реализации

Следует ожидать, что со стороны Ростехнадзора России особое внимание будет обращено на внедрение указанных новаций, вложенных в рассматриваемый законодательный акт по промышленной безопасности. Основанием для такого утверждения является то, что как обоснование безопасности опасных производственных объектов, так и последующая их экспертиза оговорены рядом таких требований и условий, исполнение которых для многих, в том числе и проектировщиков, и экспертов по промышленной безопасности, окажутся непосильными [2].

Дело в том, что сложившаяся практика проектирования опасных производственных объектов ориентирована только на обеспечение соответствия опасного производственного объекта требованиям существующих нормативно-правовых документов в области охраны труда и промышленной безопасности. Исключительно на это ориентирована и ограничивается сложившаяся система экспертизы проектных решений по опасным производственным объектам [3]. Однако, отклонение известных или дополнение новых требований с последующим обоснованием безопасности производственных объектов, связано с нормотворчеством, анализом и управлением риска аварий и производственных травм.

Большинство экспертных организаций и проектировщиков не занимаются нормотворчеством в области промышленной безопасности.

При оценке работоспособности и степени опасности производственного объекта они спокойно ограничиваются использованием одного метода «поверочного листа», проверяя, насколько полно учтены регламентированные в законодательных актах и нормативных документах требования промышленной безопасности в анализируемом проекте.

Иные методы анализа риска аварий, например, такие как «метод ключевых слов», «графоаналитический метод» и т. п. [4], не знакомы проектировщикам, так как по современным требованиям [3] аттестация экспертов по промыш-

ленной безопасности ограничивается проверкой знаний положений законодательных актов и нормативных документов в области промышленной безопасности, то есть всего того, что необходимо сегодня знать для экспертизы анализируемого объекта с использованием метода «поверочного листа» [4].

Таким образом, реализация дополнений в статью 3 ФЗ №116 пунктом 4, предоставляющим лицу, «осуществляющему подготовку проектной документации», право устанавливать дополнительные требования промышленной безопасности и представлять обоснование безопасности производственного объекта, будет связана с преодолением определенных трудностей.

Проектировщики не способны должным образом представлять обоснование безопасности производственного объекта, а эксперты не способны должным образом осуществить экспертизу промышленной безопасности подобных оснований.

Комплексность решений

При организации готовности различных отраслей экономики для установления требований промышленной безопасности и представления обоснования безопасности производственных объектов необходимо будет исходить из следующего факта. Опыт расследования аварий и производственных травм неизменно убеждает, как правило, что не существует одного достаточно эффективного способа их предотвращения. Для предотвращения возникновения и развития любого вида аварии, например, таких как взрыв, пожар, обрушения и т. п., как правило, требуется совместное использование комплекса разнообразных средств и способов предотвращения их возникновения и развития. Только комплекс взаимодополняющих организационно-технических решений способен сколь либо значимо влиять на риск возникновения и развития аварий и производственных травм.

Вместе с тем комплекс взаимодополняющих, гармонизированных организационно-технических решений, способных в значимой степени влиять на риск возникновения и развития аварий, способно разрабатывать только специализированное в области промышленной безопасности многопрофильное учреждение, организованное под единым руководством, в известной форме отраслевого научно-исследовательского института. Например, для горной промышленности такими были и остаются Открытое акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности» (ОАО «НЦ ВостНИИ»),

Открытое акционерное общество «Российский научно-исследовательский институт горноспасательного дела» (РосНИИГД), Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и марк-шейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ» (ВНИМИ), с их многолетним опытом нормотворчества в области промышленной безопасности и охраны труда, и обоснования безопасности производственного объекта.

Научно-техническое сопровождение

Для горной промышленности, как отступление от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности или нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, так и пополнение таких требований при их недостаточности или отсутствии для «эксплуатации, капитального ремонта, консервации и ликвидации» производственного объекта и последующее обоснование его безопасности, дело обычное. И раньше велись работы с привлечением к работе отраслевых институтов. Вместе с тем, надо признать, что такие работы делались не часто, эпизодически, в качестве оказания научно-технической помощи отдельным предприятиям. Сегодня сложилась несколько иная ситуация.

Современное развитие техники и технологии горного производства привело к возросшей интенсивности горных работ, к быстрой сменяемости горнотехнической ситуации и, как следствие всего этого, к возросшей потребности в работах по обоснованию безопасности производственных объектов. Обусловлено это возросшей потребностью или в отступлении от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, или нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, или в пополнении их, если таких требований недостаточно, или если такие требования не установлены. Поэтому сегодня такая работа, из-за возросшей её потребности, приобретает характер научно-технического, адаптивного сопровождения отрасли.

Понимая сложность и высокую ответственность такой работы, как в части обоснования, так и экспертизы, правомерно и рационально будет поручать ее специализированным учреждениям – отраслевым институтам в области промышленной безопасности и охраны труда.

Заключение

1. Безусловно, не просто создать «хоро-

ший» законодательный акт по промышленной безопасности или «хорошее» дополнение к нему, не менее просто обеспечить надлежащее их исполнение. И закон, и дополнения к нему, в части порядка осуществления отклонений от действующих требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами, в наличии. Предстоит не простая задача организации надлежащего их исполнения во множестве организаций и учреждений.

2. Существует понимание, что в деле обеспечения промышленной безопасности и охране труда часто недостаточно ограничиваться исполнением требований, установленными федеральными нормами и правилами. Разнообразие природных, техногенных и социальных условий обеспечения промышленной безопасности нередко делают рациональным в одних условиях допускать отклонения от требований, установленных федеральными нормами и правилами, а в других – вносить дополнения к ним. Выражением такого понимания и является введение в статью 3 ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасного производственного объекта» новой нормы: «обоснование безопасности опасного производственного объекта».

3. Необходимое требование гармонизации Российского законодательства в области охраны труда и промышленной безопасности с международными нормами и правилами обязывают внимательнее отнестись к международному опыту нормотворчества в этой области, например, к такому законодательному положению, смысл которого сводится к следующему: «Исполнение требований нормативных правовых документов по охране труда и промышленной безопасности не умаляет ответственности по любому негативному исходу. Каждый обязан для предотвращения опасности, из необходимого предусмотреть все возможное, независимо от того, предписано это или нет нормативными правовыми документами».

Таким образом, рассматриваемые поправки, внесенные в новую редакцию федерального закона № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», ориентированы на побуждение работников промышленных организаций и специализированных учреждений не ограничиваться исполнением «требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами». При необходимости следует дополнять их, руководствуясь пониманием реальной ситуации и имеющихся возможностей. Поэтому нормой Уголовного Кодекса РФ должно стать усло-

вие: «Исполнение «требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами» является обязательным, но недостаточным для невиновности по любому негативному исходу».

Разнообразие природных, техногенных и социальных условий промышленного производства делают необходимым не ограничиваться исполнением «требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами», а в дополнение к этому проявлять собственную инициативу, руководствуясь своими профессиональными знаниями, опытом и имеющимися возможностями.

4. Из опыта обеспечения промышленной безопасности известно, что любое опасное проявление формируется под воздействием множества условий. И обратное, ни одно отдельно взятое мероприятие, как правило, не способно

решить проблему безопасности даже по отдельно взятому виду проявления опасности – пожар, или взрыв, или нечто другое. Только совместное, комплексное решение дает значимый результат. Качественная разработка таких решений, как обоснование безопасности опасных производственных объектов, достигается при гармонизированном взаимодействии множества специализированных подразделений (рабочих групп) под единым руководством.

5. Проблема надлежащего исполнения законодательных актов в области охраны труда и промышленной безопасности, как культурологическая проблема государственной важности, заслуживает научного сопровождения в процессе её внедрения путем вовлечения в этот процесс научно-исследовательских специализированных организаций по промышленной безопасности и охране труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон Российской Федерации от 4 марта 2013 г. № 22-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» отдельные законодательные акты Российской Федерации и о признании утратившим силу подпункта 114 пункта 1 статьи 333.33 части второй Налогового кодекса Российской Федерации (Одобрено Советом Федерации 20 февраля 2013 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Информационно-правовое обеспечение «Гарант», Эксперт-Гарант-Максимум. – Загл. с экрана.

2. Проект «Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта».

3. Постановление Госгортехнадзора РФ от 06.11.1998 N 64 (ред. от 01.08.2002, с изм. от 15.05.2008) «Об утверждении Правил проведения экспертизы промышленной безопасности» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 08.12.1998 N 1656).

4. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД 03-418-01. (утв. Госгортехнадзором России Постановлением от 10.07.2007, № 30).

ADAPTIVE MAINTENANCE OF REGULATORY SUPPORT INDUSTRIAL SAFETY OF MINING

*A.F. Pavlov, V.B. Popov, I.A. Shundulidi
With introduction in the Federal law
No. 116 «On Industrial Safety of Hazardous
Industrial Facilities».*

*The realization problem of the new norm:
«safety foundation of Hazardous Industrial
Facilities» in the Federal law No. 116 «On Industrial
Safety of Hazardous Industrial Facilities». The
article is devoted to organizational and methodical
questions to solve the problem.*

Key words: FOUNDATION, ACCOMPANIMENT, SHELTEREDNESS OF HAZARDOUS FACILITY, NECESSARY AND SUFFICIENT CRITERION, EFFICIENCY, IMPLEMENTATION, LEGISLATIVE ACT

*Павлов Архип Федорович
e-mail: pavlovarchip@yandex.ru*

Попов Валерий Борисович

*Шундулиди Иван Александрович
e-mail: nedrasib@mail.ru*

А. А. Христофоров

ведущий конструктор ООО «Горный ЦОТ»

А. А. Малахов

ведущий конструктор ООО «ВостЭКО»

П. Ю. Филатов

старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

УДК 622.807.24→62.397

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СПОСОБА ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА

Составной частью системы пневмогидроорошения является конструкция форсунок эффективного пылеподавления с использованием энергии воздуха или газа, разработанная инженерами ООО «ВостЭКО». Описана конструкция блока для установки форсунок, а также блока управления. Проведены испытания, по результатам которых доказана эффективность, определены рациональные параметры работы системы. Предложены рекомендации по ее установке на комбайне, количеству и расположению форсунок в пространстве.

Ключевые слова: РАЗРАБОТКА, АНАЛИЗ, ПАРАМЕТРЫ, ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЕ, СИСТЕМА АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, БЛОК УПРАВЛЕНИЯ, ОРОШЕНИЕ, ФОРСУНКА, ЭНЕРГИЯ ВОЗДУХА ИЛИ ГАЗА, ВОДОВОЗДУШНЫЙ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ПОВЫШЕНИЕ, ДИСПЕРГИРОВАНИЕ, ТУМАН, ФАКЕЛ, АКТИВНАЯ ЧАСТЬ, ФРИКЦИОННОЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЕ, ВЫДУВАНИЕ МЕТАНА, ОХЛАЖДЕНИЕ РЕЗЦОВ, ПРОВЕТРИВАНИЕ

Состояние вопроса и задачи исследования

По итогам реализации «Долгосрочной программы развития угольной промышленности России на период до 2030 года» предполагается обеспечить добычу угля объемом не менее 500 млн тонн в год [1].

Решение этой задачи будет осуществляться, прежде всего, за счет повышения производительности труда (в 5 раз к 2030 году) на базе последовательной модернизации и обновления производственных мощностей, внедрения более производительных механизированных и автоматизированных комплексов, повышения конкурентоспособности угольных компаний (не менее чем в 2–3 раза по основному кругу показателей), уровня промышленной и экологической безопасности в отрасли, разработки новых технологий, обеспечивающих добычу угля в сложных местах залегания пластов. К тому моменту в Кузнецком угольном бассейне будут построены новые шахты и разрезы общей мощностью более 50 млн тонн угля в год [1].

Согласно одному из пунктов программы

стратегической целью развития угольной промышленности является повышение уровня безопасности функционирования угледобывающих предприятий.

Основным способом борьбы с взвешенной пылью в угольных шахтах, применяемым на всех очистных и проходческих комбайнах, а так же при погрузочно-транспортных операциях, является орошение. Способ пылеподавления заключается в смачивании, улавливании и осаждении пыли жидкостью, диспергированной на мелкие капли. Эффективность орошения зависит от многих факторов, основными из которых являются: степень диспергирования капель, степень турбулизации потока, скорость капель жидкости в факеле орошения, способность жидкости к смачиванию пылинок. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что при использовании низконапорного орошения до 2,5 МПа наибольший эффект может быть достигнут при оптимальной дисперсности капель в факеле порядка 100 мкм и начальной скорости полета капель 30–80 м/с. Однако при этом эффективно улавливается крупная пыль, а тонкая (менее

3 мкм) остается витать в воздухе. Более высокого эффекта улавливания как крупной, так и мелкой пыли можно достигнуть при повышении давления воды до 10 МПа и оптимальном размере капель до 10 мкм [4].

В настоящее время современные выемочные и проходческие комбайны оснащены различными модификациями типовой оросительной системы с внутренней и внешней разводкой воды. Совершенствование системы проводится главным образом в направлении увеличения энерговооруженности и автоматизации с целью повышения производительности, возможности проведения выработок большого сечения, в том числе по породам повышенной крепости.

Однако проблема борьбы с пылью при работе проходческих комбайнов остается нерешенной, несмотря на довольно высокую эффективность пылеподавления (85–95 %) при соблюдении оптимальных параметров орошения. Такая ситуация обуславливается недостатками существующих систем орошения.

К недостаткам системы орошения с подачей воды под резец можно отнести частое засорение форсунок снаружи и изнутри, отсутствие регулирования расхода воды в зависимости от положения исполнительного органа комбайна в забое и его производительности, недостаточно надежную герметизацию соединения водяных каналов, коронки и кулаков. Такое улучшение конструкции, как подача на резец только в момент его контакта с породой, не добавляет надежности. Для систем с внешней разводкой характерны низкая эффективность улавливания тонких фракций пыли, сильное обводнение забоев и зон выработок, переувлажнение угля в результате большого расхода и низкого коэффициента использования воды, ухудшающие санитарно-гигиенические условия труда шахтеров.

Итак, типовая оросительная система горных комбайнов недостаточно надежна и не обеспечивает требуемых параметров орошения в течение длительного времени, а эффективность её работы в производственных условиях обычно ниже требуемой. Поэтому дальнейшее повышение эффективности пылеподавления невозможно за счет увеличения расхода воды – необходимо применение более эффективных, усовершенствованных способов орошения [4].

Выполненные в ООО «Горный ЦОТ» и ООО «ВостЭКО» изыскания возможности создания аэрогидродинамического способа обеспыливания воздуха при работе проходческого комбайна показали, что на его основе возможно создание адаптивной унифицированной систе-

мы, которая позволит упростить конструкцию исполнительного органа и резцов, значительно снизить расход воды.

С 2012 года по 2014 год авторами проведены исследования гидродинамических процессов, аналитические исследования и лабораторные эксперименты, а также компьютерное моделирование физических процессов.

На основании полученных результатов разработаны конструкции блока для форсунок и блока управления системой, определены параметры и оптимальные места расположения оросителей, обеспечивающие пневмогидравлическое обеспыливание зоны работы исполнительного органа горного комбайна. Проведены лабораторные испытания на стенде.

Технические решения форсунок для создания водовоздушного тумана с использованием воздуха и воды одновременно, что повышает эффект пылеподавления, использованы в составе системы пневмогидроорошения. Форсунки защищены патентами.

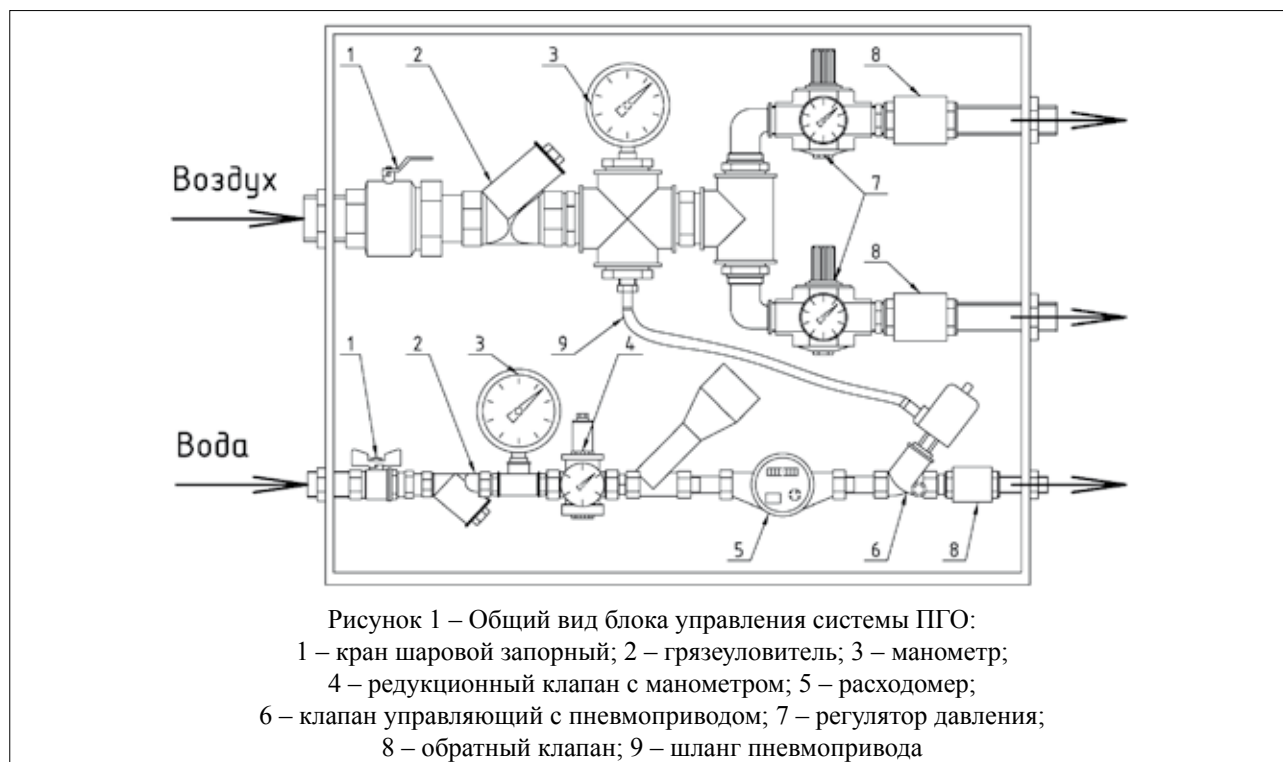
Основные конструкторские решения и принцип действия системы пневмогидроорошения

Результаты проведенных ранее исследований и выполненных разработок позволили определить составные части системы пневмогидроорошения (далее – ПГО), а также разработать технологическую схему её применения для проходческих комбайнов.

Система ПГО состоит из двух основных частей: блока с форсунками и блока управления.

Блок управления представляет собой металлический короб, в котором размещены редукционные, управляющий и обратные клапаны, устройства для регулирования расхода, контрольно-измерительная аппаратура, фильтры, а так же запорные вентили, на торцах расположены выходы для фитингового соединения с блоками форсунок. В зависимости от модификации в схему могут быть установлены электронные устройства контроля расхода и давления обоих сред, которые будут включены в электрическую сеть и позволят комбайну работать только при достижении требуемых параметров. С учетом особенностей области эксплуатации системы корпус блока управления изготавливается из толстого листового металла (рис. 1).

Блок форсунок состоит из двух изолированных камер для отдельной подачи воды и воздуха, каждая из которых соединена с отдельными входами распылительных форсунок. Корпус блока изготавливают из U-образного профи-



ля, а так же толстостенной трубы круглого или квадратного сечения. Существуют две модификации блока: с коллектором и без него (рис. 2, 3).

В блок установлены форсунки двух типов, имеющие конусный и плоскоструйный распылы.

Принцип действия системы ПГО следующий. Воздух от компрессора подается к фильтру по шлангу. Поток проходит по магистрали к блоку форсунок через редукционный клапан, понижающий давление воздуха до требуемого. Как только давление в системе выравнивается, за счет пневматического привода срабатыва-

ет управляющий клапан. В это время вода из противопожарного трубопровода под требуемым давлением, которое обеспечивает водяной редукционный клапан, через фильтр поступает в блок к форсункам, где происходит дозированная подача компонентов. Газовый канал особого профиля разгоняет проходящий по нему газовый поток до сверхзвуковых скоростей. В этот момент подается вода в заданном соотношении. На выходе из сопла форсунки давление и скорость резко понижаются, газ расширяется, происходит разрывание жидкости и превращение в водовоздушную смесь высокой дисперсии.

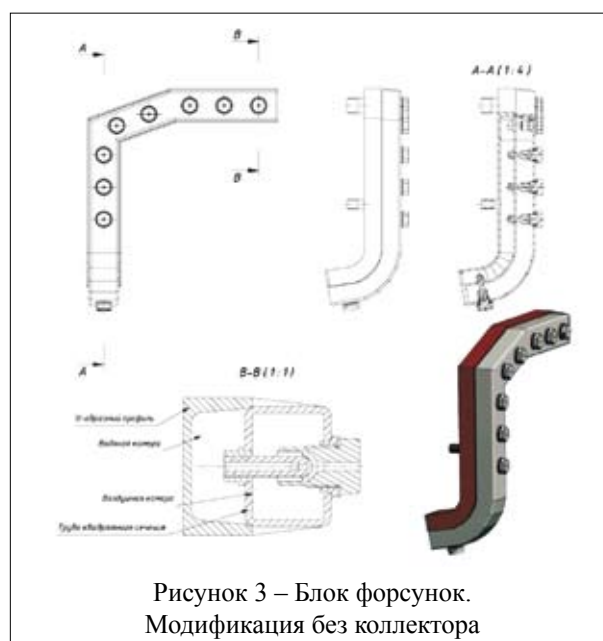
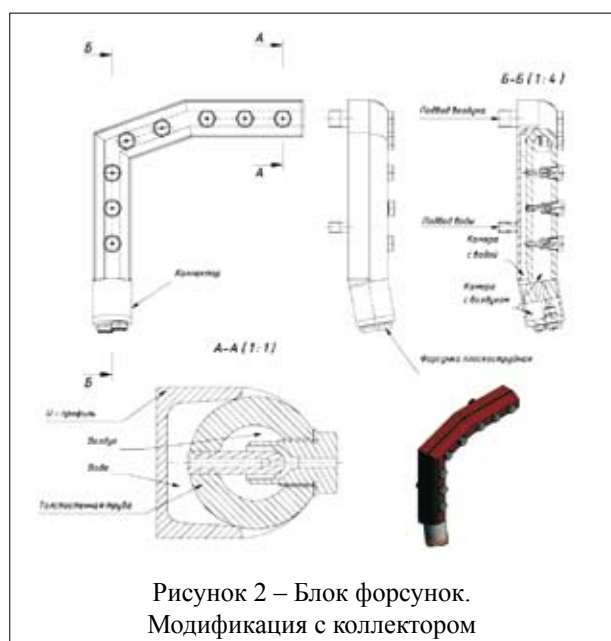




Рисунок 4 – Общий вид системы с исполнительным органом:
размер А – расстояние от форсунки до оси режущего органа;
размер В – межосевое расстояние между форсунками;
угол А – угол раскрытия факела форсунки

Методика исследований

Исследования по определению рациональных схем и параметров аэрогидродинамического способа обеспыливания при работе проходческого комбайна проводились на стенде лабораторно-модельным способом (рис. 5), позволяющим выделить из всех совокупностей отдельные факторы и установить их влияние на данный процесс и регулировать в необходимых пределах те или иные параметры процесса, что значительно облегчает постановку экспериментов и сокращает время и затраты на их проведение.

Система испытывалась в широком диапа-

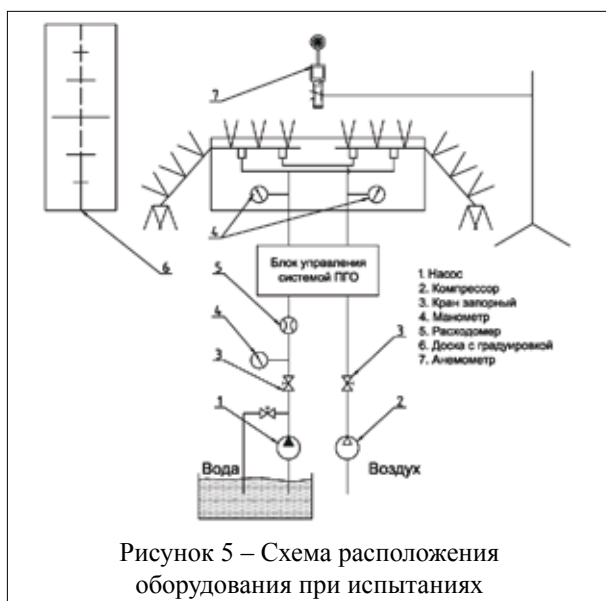


Рисунок 5 – Схема расположения оборудования при испытаниях

зоне параметров, проверялись уязвимые места, которые впоследствии модернизировались или исправлялись. Арматура выбиралась из расчета работы системы на параметрах, оптимальных для работы форсунок.

В ходе испытаний фиксировались следующие параметры: давление воды и воздуха на входе в систему, а также у оросителей, расход воды, скорость потока воздуха от оросителей, проверка времени достижения рабочих параметров, показатели надежности.

Анализ данных позволил прийти к неожиданному, но вполне логичному выводу: факелы форсунок при распылении жидкости эжектируют значительное количество воздуха. Так, при давлении в 0,4 МПа используемая форсунка эжектирует не менее 0,6 м³/мин. Учитывая, что при использовании внешнего орошения на комбайне должно применяться от 15 до 25 форсунок конусного распыла и от 2 до 4 плоскоструйного, не сложно посчитать количество воздуха, принимающего участие в процессе пылеподавления. Таким образом, система ПГО в зависимости от количества форсунок создает направленный водовоздушный поток интенсивностью 0,25–0,5 м³/с. Такое количество тумана с размерами капель от 10 до 200 мкм, имеющее постоянную скорость в зоне выброса под коронкой, превышающую 10 м/с, оказывает влияние на диффузионные свойства вентиляционных потоков по газовому фактору, способствуя вымыванию метана из зоны резания и удаления его из забоя.

Рекомендации по установке блока относительно режущего органа

Существует единое мнение исследователей о том, что скорость движения капель жидкости в факеле определяет эффективность их соприкосновения с пылинками и имеет решающее значение для осаждения взвешенной пыли в воздухе, а с ее возрастанием увеличивается и длина активной зоны факела диспергированной жидкости. Относительно оптимальной скорости движения капель мнения расходятся: по данным одних авторов, она должна составлять не менее 15–20 м/с., других – 20–30 м/с [2].

Таким образом, на основании аналитических и экспериментальных исследований, нами определено необходимое расстояние, при котором рабочий орган должен находиться в зоне эффективного действия форсунок. Этот показатель напрямую зависит от рабочего давления системы.

Плоскость распыла форсунок, расположенных на торце блока, должна быть перпендикулярна оси симметрии режущего органа. Допу-

скается изменять угол, но в пределах $\pm 10^\circ$.

Для зоны резания факел форсунок должен быть направлен на основание коронки, для орошения зоны погрузки – в зону падения угля.

С целью увеличения эффективности работы системы гидропневмоорошения, необходимо установить на торцевых поверхностях блоков форсунки с плоским факелом распыла. Водяная завеса, создаваемая форсунками, будет отсекает потоки пылевоздушной массы из места выемки, проходящие рядом с почвой.

Рекомендации по количеству и расположению форсунок

Количество форсунок зависит от размеров исполнительного органа.

Межосевое расстояние между форсунками в плоскости выбирается исходя из расстояния до исполнительного органа, так как факелы форсунок должны перекрываться друг относительно друг друга непосредственно перед ним.

Выводы

В настоящей работе дано решение актуальной задачи разработки нового высокоэффективного метода борьбы с пылью при работе проходческих комбайнов.

Разработанная система показала высокую эффективность и надежность работы, что позволяет повысить эффективность работы системы орошения комбайна в целом. На основании многофакторного анализа полученных данных даны рекомендации по конструкции блока, количеству

форсунок, межосевому расстоянию между ними, а также по установке его на комбайне.

Определены рациональные параметры работы системы ПГО:

- давление воды $P = 0,3 \div 1,5$ МПа;
- давление воздуха $P = 0,3 \div 0,7$ МПа;
- расход воды $Q =$ не менее 0,8 л/мин. на одну форсунку;
- расход воздуха $Q =$ не менее 0,6 м³/мин. на одну форсунку при давлении $P = 0,4$ МПа

Разработан блок управления системой. Установлено, что система позволяет повысить взрывобезопасность шахтной атмосферы при интенсивной выемке породы или угля за счет выдувания метана из режущей области.

К техническим преимуществам системы ПГО относятся:

- упрощенное исполнение конструкции исполнительного органа и резцов за счет использования внешней системы орошения;
- значительное снижение расхода воды;
- выдувание метана из режущей области;
- возможность проверки работоспособности системы способом визуального осмотра;
- простое обслуживание системы;
- удобное регулирование расхода и контроль за давлением и воды и воздуха;
- достаточное охлаждение резцов в зоне резания;
- уменьшение износа резцов;
- снижение затрат на обслуживание и ремонт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении долгосрочной программы развития угольной промышленности России на период до 2030 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 24.01.2012 № 14-р. – Режим доступа: http://www.rg.ru/pril/64/07/80/14_ghu.doc.
2. Гринюк, А. А. Разработка способа пылеподавления и предотвращения воспламенения метана при работе проходческих комбайнов : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01; защищена 10.10.1985 / Гринюк Алексей Алексеевич. – Кемерово, 1985. – 142 с.
3. Белоногов, И. П. Исследование пылевыделения и совершенствование способов и средств борьбы с пылью на основе водовоздушных эжекторов при работе проходческих комбайнов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Белоногов Иван Петрович. – Кемерово, 1978. – 23 с.
4. Авраменко, С. М. Повышение эффективности пылеподавления при работе очистных комбайнов на основе аэрогидродинамического обеспыливания : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Авраменко Сергей Михайлович. – Кемерово, 1989 – 165 с.
5. Создать и освоить аэрогидродинамическую систему обеспыливания при работе очистных комплексов для пластов мощностью до 4,5 м с углом падения до 35° : отчет о НИР / ВостНИИ; исполн. Авраменко С. М., Трубицын А. В., Медведев В. Т., Бугримова Э. С., Большаякова Т. В. – Кемерово, 1988. – 31 с.
6. Провести исследования по созданию принципиально новых сред, обеспечивающих значительное (по ПДК) снижение запыленности воздуха : отчет о НИР / ВостНИИ; исполн. Авраменко С. М., Трубицын А. В., Удотов С. В., Пищалина Т. Н., Медведев В. Т., Донсков Ю. И., Чикунова Г. В., Большаякова Т. В. – Кемерово, 1985. – 60 с.

DEVELOPMENT OF DUST SUPPRESSION SYSTEM BASED ON THE METHOD AEROHYDRODYNAMIC AIR DEDUSTING

A. A. Khristoforov, A. A. Malakhov, P. Yu. Filatov

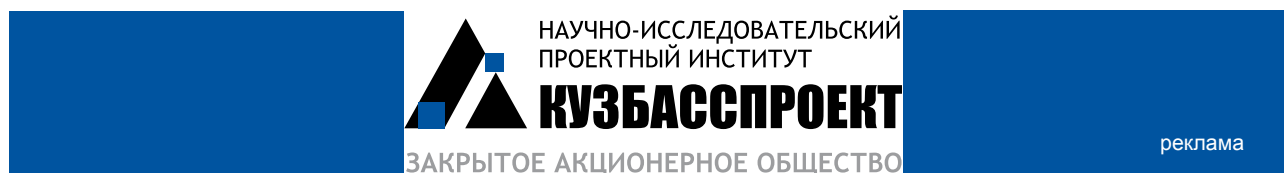
The construction of nozzles for efficient dust control using gas or air energy, developed by engineers OOO "VostEKO." is the part of pneumohydraulic spraying system. The unit construction for nozzle installation and control unit are described. Test, the results of which proved the effectiveness, defined rational parameters of the system were carried out. Installation Recommendations for combine machine, quantity and an arrangement of nozzles in space are offered.

Key words: DEVELOPMENT, ANALYSIS, PARAMETERS, DUST SUPPRESSION, SYSTEM OF AIR HYDRODYNAMIC DUST SUPPRESSION, SAFETY, CONTROL UNIT, IRRIGATION, NOZZLE, AIR OR GAS ENERGY, WATER-AIR, EFFICIENCY, INCREASE, DISPERSION, FINE DISPERSION, FOG, STRUCTURE, TORCH, LENGTH, ACTIVE PART, FRICTION IGNITION, BLADES COOLING, VENTILATION, PARTICLE SIZE

Христофоров Александр Александрович
e-mail: knaz1984@gmail.com

Малахов Андрей Андреевич
e-mail: uz.malahov@gmail.com

Филатов Павел Юрьевич
e-mail: fillini-f@mail.ru



ЗАО «НИПИ Кузбасспроект» – проектная и научно-исследовательская организация для осуществления деятельности по промышленному проектированию угледобывающих предприятий (угольных шахт и разрезов), углеобогачительных фабрик, предприятий горно-рудной промышленности, объектов энергетики (теплоэлектростанций и электроподстанций, сетей электроснабжения) и объектов общественного назначения, а также научного исследования передовых технологий в промышленности.

Мы готовы предложить Заказчику полный комплекс услуг, от подготовки и сбора исходных данных, проведения научных исследований и подготовке технико-экономических обоснований, бизнес-планирования, выполнения проектно-сметной документации до авторского надзора за строительством и технического аудита производственных процессов. В ЗАО «НИПИ Кузбасспроект» привлекаются лучшие специалисты в сфере проектирования и научные сотрудники КузГТУ, и мы понимаем, что сотрудники являются самым ценным активом организации, а формирование человеческого капитала, обучение персонала, построение эффективной команды позволит получить стратегическое преимущество в сегодня и в будущем.

Для нас важно помочь Заказчику решить имеющиеся проблемы и задачи с получением максимальной экономической и технологической эффективности предприятия.

ЗАО «НИПИ Кузбасспроект»
650025, г. Кемерово
Ул. Володарского, 16
Тел/факс (3842) 48-04-18, 48-04-17
office@nipikp.ru
www.nipikp.ru

Д. В. Ботвенко

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

В. Г. Казанцев

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

М. С. Сазонов

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

В. В. Высоцкий

старший преподаватель, кафедра экспериментальной физики ФГБОУ ВПО «КемГУ»

УДК 622.8

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ОТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ГОРНЫХ ПОРОД

Установлено, что горные породы, обладающие пьезоэлектрическим эффектом при неблагоприятных сочетаниях механического состояния углепородного массива и шахтной атмосферы способны вызвать взрывное горение метановоздушной смеси.

Ключевые слова: ПЬЕЗОЭФФЕКТ, ГОРНАЯ ПОРОДА, ДИОКСИД КРЕМНИЯ, НАПРЯЖЕНИЕ

Производство горных работ на выемочных участках сопряжено с неизбежным обрушением вышележащей толщи горных пород. При обрушении кровли угольных пластов, сложенной породами с большим содержанием свободного диоксида кремния возникает опасность воспламенения метановоздушной смеси в выработанном пространстве, инициируемое трещинообразованием, динамическим разрушением и фрикционным трением элементов горных пород.

Одной из вероятных причин воспламенения и взрыва метановоздушной смеси являются мощные электрические разряды между берегами образующихся экзогенных трещин или между кусками пород при их развитии и разрушении.

Напряженность электрического поля в горных породах имеет различную природу. В нетронutom массиве это естественные электрические поля, теллурические и локальные, обусловленные вариациями магнитного поля Земли и геофизическими явлениями, такими как трение отдельных массивов пород при их сдвигении, электрические поля, возникающие в результате фильтрационных и диффузионных процессов жидкости и газа, имеющие биологическую и иную природу. Вместе с тем такие электрические поля не представляют особой опасности даже в

случае их неблагоприятной суперпозиции, поскольку процесс эволюции электрического поля растянут во времени. Это объясняется тем, что период спонтанной поляризации невелик, время завершения макроструктурной поляризации у различных пород составляет $10^{-8} \div 10^{-3}$ с. Время жизни свободных электронов, например, у двуокиси кремния порядка 10 мс. По этой причине внешние плавно изменяющиеся во времени геофизические воздействия на структуру горных пород могут считаться статическими, а электрические поля уравновешенными из-за утечки зарядов.

Иная картина проявляется при разрушении горных пород, когда само время разрушения оказывается сопоставимым со временем деполяризации. Таким образом, на величину напряженности электрического поля влияет как скорость нагружения горных пород, так и уровень нагрузки/разгрузки.

При обрушениях кровли возникновению аномальных всплесков электрических полей и лавинообразному освобождению энергии в крест простирания способствует спонтанное выделение потенциальной энергии деформации в момент разрушения пород (разделение кусков пород на части) в малые промежутки времени при практически мгновенном снятии нагрузки.

Как известно, во многих кристаллах при растяжении и сжатии в определенных направлениях возникает электрическая поляризация. В результате этого на их поверхностях появляются электрические заряды обоих знаков, так называемый прямой пьезоэлектрический эффект.

Исследованиям возникновения электрических полей в условиях быстропротекающих процессов разрушения, в том числе в горных породах посвящено ряд работ [1–4].

При этом установлено:

- заряды на свежих сколах возникают в процессе раскалывания вследствие перераспределения электронов или ионов между стенками бегущей трещины;

- наличие хаотических структурных дефектов в материале не оказывает определяющую роль в распределении зарядов вдоль поверхности разрушения;

- накопление положительных и отрицательных зарядов на берегах движущейся трещины зависит от уровня деформации разделяющихся частей; вместе с тем вопрос о механизме миграции зарядов остается открытым.

Пьезоэлектрические эффекты, возникающие в горных породах можно объяснить моделью Мейсснера. Горные породы содержат в себе вкрапления диоксида кремния SiO_2 различной концентрации, достигающей 60 % и выше. Кристаллическая решетка диоксида кремния состоит из четырех положительных ионов кремния и двух отрицательных ионов кислорода. При деформациях сжатия и растяжения горных пород возникают положительные и отрицательные электрические заряды на краях трещин или плоскостей, образующихся при разрушении. При этом величина зарядов пропорциональна величине деформации. В связи с тем, что между деформацией и приложенной силой согласно закону Гука существует прямая пропорциональность, то поляризация кристалла при пьезоэлектрическом эффекте должна быть пропорциональна приложенной силе.

В работах [5–8] подтверждается наличие эффекта пьезоэлектричества в горных породах, экспериментально, а затем теоретически установлена пропорциональная связь между величиной заряда на гранях породного массива (образца) и приложенной к грани силы. Если сдвиговые напряжения отсутствуют, то поляризация образца при растяжении или сжатии широко известна и определяется выражением:

$$Q = d \cdot \sigma, \quad (1)$$

где Q – поверхностная плотность заряда;
 d – коэффициент пропорциональности между электрическими и механическими напряжениями – пьезоэлектрический модуль;

σ – нагрузка.

При снятии или прекращении нарастания нагрузки с течением времени заряды исчезают.

Пьезоэлектрический эффект может достигаться не только под действием нормальных напряжений, но и под действием сдвиговых сил.

Заметим, что в общем случае напряженное состояние объекта в точке характеризуется тензором напряжений, включающим шесть компонент нормальных и сдвиговых напряжений, а вектор поляризации Q имеет три независимые компоненты. Поэтому коэффициент d в выражении (1) представляет собой восемнадцать различных пьезоконстант. Поскольку все пьезоконстанты связаны друг с другом, то при описании пьезоэлектрических свойств можно ограничиться лишь одной константой, например d . Вместо многопараметрического анализа напряженного состояния тела по тензору напряжений представляется целесообразным ввести в рассмотрение эквивалентное напряжение. При переходе от многопараметрического анализа к однопараметрическому в качестве эквивалентных напряжений целесообразно включить в рассмотрение величину интенсивности напряжений S_p , поскольку эта величина представляется совокупностью компонент тензора напряжений.

При этом выражение (1) приобретает обобщенный вид, отражающий однопараметрическую связь между величинами электрических зарядов и механических напряжений, которая пригодна при исследовании быстропротекающих процессов:

$$Q = d \cdot S_i, \quad (2)$$

где $S_i = (3/2 \cdot S_{ij} S_{ij})^{1/2}$, S_{ij} – компоненты тензора девиатора напряжений.

По данным работы [9] хрупкое разрушение твердых тел, в том числе горных пород, сопровождается электромагнитным излучением в диапазоне частот от десятков килогерц до десятков мегагерц и амплитудой напряженности электрической составляющей поля от долей микровольта на метр до сотен вольт на метр в зависимости от размеров разрушений и свойств разрушаемых тел.

Данные электромагнитные явления обусловлены различными по своей природе физическими процессами, протекающими в зоне концентрации напряжений, которые могут быть

объединены в следующие три основные группы. Возникновение электрических разрядов вследствие высоковольтной поляризации горных пород при их смещениях за счет пьезо-, сейсмо-, трибо- и электрохимических (фильтрационных) эффектов.

Перенос зарядов на берега трещин из приповерхностных объемов массива вследствие направленного перемещения заряженных дислокаций из-за асимметрии поля напряжений в районе вершины образующейся трещины, приводит к эмиссии носителей заряда со стенок трещины в поле высокой напряженности, и как следствие к возможности образования электрического пробоя вблизи вершины трещины между ее берегами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнфельд, М. И. Электрические разряды на поверхности щелочно-голоидного кристалла // ФТТ, 1971, 13, 2.
2. Петухов, И. М. Теоретические основы борьбы с выбросами угля, породы и газа / И.М. Петухов, А.М. Линьков // Уголь. – 1975. – № 9.
3. Егоров, П. В. Явление возникновения объемного разряда в горных породах при их механическом нагружении / П. В. Егоров, С. Б. Васильев, В. П. Корнейчиков и др. // ФТПРПИ, 1978.
4. Хямяляйнен, В. А. Геоэлектрический контроль разрушения и инъекционного упрочнения горных пород / В. А. Хямяляйнен, С. М. Простов, П. С. Сыркин. – М.: Недра, 1996. – 288 с.
5. Тарасов, Б. Г. Применение метода электрометрии для контроля за состоянием горных выработок в условиях рудника «Октябрьский» / Б. Г. Тарасов и др. – В сб. «Вопросы рудничной аэрологии». – Кемерово, КузПИ, 1976, вып 4. – С. 250–257.
6. Тарасов, Б. Г. Геотектонические процессы и аномалии квазистационарного электрического поля в земной коре / Б. Г. Тарасов, В. В. Дырдин, В. В. Иванов // ДАН СССР 1990. – Т. 312. – № 5. – С. 1092–1095.
7. Алексеев, Д. В. В твердых телах с диффузионным механизмом проводимости / Д. В. Алексеев, Д. В. Баротоки // ФТТ 1991, – Т. 33. – № 10 – С. 1456–1476.
8. Воробьев, А. А. Преобразование видов энергии в земной коре, электризация пород и разряд в них // Материалы научно-технической конференции ТВН. – Томск: изд. ТГУ, 1973.
9. Мясников, А. А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А. А. Мясников, С. П. Старков, В. И. Чикунов. – М: Недра, 1985. – 205 с. ил. 22 с.

Проводя анализ вышеперечисленных теорий и гипотез можно сделать вывод о том, что при обрушении горных пород в выработанных пространствах выемочных участков возможно возникновение температурного импульса посредством пьезоэлектрического эффекта достаточного для воспламенения метановоздушной смеси.

В рассматриваемой нами проблеме о возможности воспламенения метановоздушной смеси от пьезоэлектрического эффекта ключевыми факторами являются параметры пробойных напряжений и выяснение условий существования такого пробоя – установление критериальных величин оценки воспламенения метановоздушной смеси в условиях разрушения горных пород.

THE POSSIBILITY OF IGNITION OF METHANE-AIR MIXTURE FROM THE PIEZOELECTRIC EFFECT ROCKS

D. V. Botvenko, V. G. Kazantsev, M. S. Sazonov, V. V. Vysotsky

It is established that rocks with piezoeffect in unfavorable combinations of mechanical condition of a surrounding coal array and mine atmosphere can cause an explosive methane-air mixture combustion.

Key words: PIEZOEFFECT, ROCK, SILICON DIOXIDE, INTENSITY

*Ботвенко Денис Вячеславович
e-mail: d.botvenko@nc-vostnii.ru*

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

*Сазонов Михаил Сергеевич
e-mail m.sazonov@nc-vostnii.ru*

*Высоцкий Владимир Владимирович,
e-mail sigmakem@mail.ru*

С. И. Голоскоков

канд. техн. наук, зав. лабораторией ОАО «НЦ ВостНИИ»

Н. М. Недосекина

старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

М. С. Сазонов

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

Е. И. Голоскоков

старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

Н. А. Терентьева

ведущий инженер ОАО «НЦ ВостНИИ»

УДК 622.514→622.807

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМАЧИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УГОЛЬНОЙ, УГЛЕПОРОДНОЙ ПЫЛИ РАСТВОРАМИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Представлен новый способ определения смачивающей способности пыли растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ), суть которого заключается в расчете удельной поверхности смоченной части пыли с помощью автоматизированного гранулометрического анализа.

Ключевые слова: СМАЧИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, БОРЬБА С ПЫЛЬЮ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАВ, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЫЛИ

Эффективность способов связывания и смыва пыли, а также других способов пылевзрывозащиты, основанных на применении воды, зависит главным образом от скорости и полноты смачивания отложившейся пыли по всей поверхности выработки [1]. В практике борьбы с пылью считается, что без добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) невозможно эффективно применять способы гидропылевзрывозащиты для пыли угольных шахт, обладающей высокой гидрофобностью.

Взаимодействие адгезируемых веществ может протекать в статических и динамических условиях. В обоих случаях совершается работа по вытеснению воздуха с внешней поверхности пылинок при растекании жидкости [1].

В статических лабораторных условиях работа смачивания пыли с учетом ее дисперсности определяется по формуле [1]:

$$A_{cm} = \sigma_{cm} (1 - \cos\theta) S_0 P_s, \quad (1)$$

где S_0 – удельная поверхность пыли, м²/кг;

θ – краевой угол смачивания, град.;

σ_{cm} – поверхностное натяжение раствора

смачивателя, Дж/м²;

P_s – пылеотложение, кг/м².

Из формулы (1) следует, что смачивающая способность пыли зависит от угла смачивания (θ) и величины σ_{cm} , характеризующей свойства смачивающей жидкости. Для практических расчетов представлена таблица 1 [1], где приведены средние значения краевых углов смачивания углей различных марок, минералов, горных пород, наиболее распространенных в горной практике.

В работе [2] приведен способ определения смачивающей способности угольной пыли растворами ПАВ по массовой доле частиц угольной пыли осевших в растворе. Представленный способ является трудоемким, в итоге коэффициент вариации не превышал 12 % [2].

В данной статье предложен еще один способ определения смачивающей способности угольной пыли растворами ПАВ, основанный на расчете работы смачивания пыли с помощью лазерного анализатора размеров частиц Analysette 22 MicroTec Plus для автоматизации, ускорения и снижения вариации результатов расчета. По сравнению с «классическими» методами изме-

Таблица 1 – Краевые углы смачивания углей, минералов, горных пород

Уголь (марка), минералы, горные породы	Краевой угол смачивания, градус
А	68
ПА	69
Т	71
ОС	76
К	85
Ж	78
Г	65
Д	60
Кварц	0-10
Кальцит	0
Пирит	33
Углистый сланец	43
Глинистый сланец	0-10
Горючий сланец	0-10

рения, такими как рассев, седиментация, либо анализ по изображению, лазерная дифракция обладает рядом важных преимуществ – относительно малое время проведения анализа, хорошая воспроизводимость и точность, простая калибровка, большой диапазон измерений (0,08 – 2000 мкм) и высокая универсальность.

Суть нового способа определения смачивающей способности пыли растворами ПАВ заключается в расчете удельной поверхности смоченной части пыли с помощью автоматизированного гранулометрического анализа (рис.1). Смоченная часть пыли, полученная равномерным распределением навески пыли массой 1 г за время, равное 120 с., на поверхность раствора смачивателя оптимальной концентрации [2], отделяется от несмоченной части навески

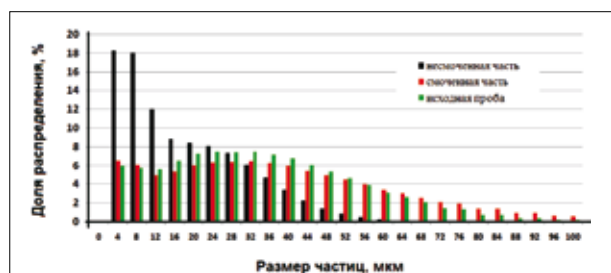


Рисунок 1 – Среднее распределение частиц по размерам для угля марки К

в разные емкости. В качестве смачивателя используется водный раствор ПАВ «Неолас», при этом в работе [1] установлено, что увеличение концентрации смачивателей более 0,5 % нецелесообразно.

Из рисунка 1 следует, что в несмоченной части пыли содержатся преимущественно очень мелкие фракции, но это частный случай. На рисунке 2 показано распределение частиц по размерам в несмоченной части для угля марки Д.

В несмоченной части навески содержатся частицы всех фракций (рис. 2). За параметр, который характеризует распределение частиц по фракциям, взята удельная специфическая поверхность смоченной части пыли S_c (см²/см³), полученная при помощи системы автоматизированного расчета Analysette 22 MicroTec Plus (табл. 2).

Специфическая работа смачивания пыли рассчитывается как:

$$A_c = \frac{t_{cm}}{60} (1 - \cos\theta) \frac{S_c}{\rho} P_s, \quad (2)$$

где t_{cm} – время смачивания при оптимальной концентрации, с ($\frac{t_{cm}}{60}$ введено вместо σ_{cm} – величины, характеризующей свойства смачивающей жидкости);

θ – краевой угол смачивания, град.;

S_c – удельная специфическая поверхность смоченной части пыли, см²/см³;

ρ – плотность угля, г/см³;

P_s – пылеотложение, г/см².

Рассчитанные значения специфической работы смачивания представлены в таблице 3. Там же приведены значения смачивающей способности пыли, которые были получены гравиметрическим способом определения смачивающей способности угольной пыли растворами ПАВ по массовой доле осевших в растворе частиц угольной пыли.

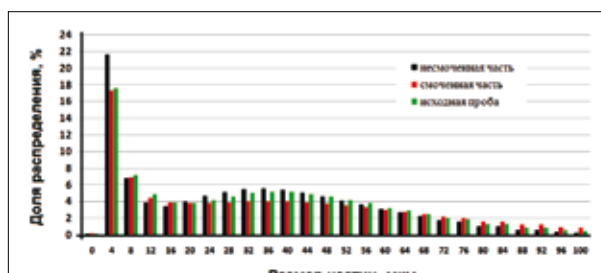


Рисунок 2 – Среднее распределение частиц по размерам для угля марки Д

Таблица 2 – Удельная специфическая поверхность смоченной части угольной и углепородной пыли (УПП)

Марка	К	Д	Т	Г	ОС	УПП (1)	УПП (2)
проба 1/1, смоченная часть	4661	11629	5759	7290	4128	22679	-
проба 1/2, смоченная часть	4806	12681	5838	8296	4723	23360	17251
проба 1/3, смоченная часть	5046	13842	6779	9270	5019	23206	18460
Среднее значение	4838	12717	6125	8285	4623	23082	17855
проба 2/1, смоченная часть	4806	10497	6928	8471	4629	18969	11543
проба 2/2, смоченная часть	4876	11377	6842	8847	5072	19832	13027
проба 2/3, смоченная часть	4956	11797	7281	9551	5583	21072	15692
Среднее значение	4879	11223	7017	8956	5095	19958	13421
проба 3/1, смоченная часть	4069	12057	8417	7461	3209	16139	12439
проба 3/2, смоченная часть	4870	12482	8369	8486	4434	19720	14994
проба 3/3, смоченная часть	4713	12887	8553	8953	5753	20728	15190
Среднее значение	4551	12475	8446	8300	4465	18862	14208

Таблица 3 – Параметры смачивания угольной и углепородной пыли водными растворами ПАВ «Неолас»

Марка	К	Д	Т	Г	ОС	УПП (1)	УПП (2)
Время смачивания при оптимальной концентрации, с	36	52	49	52	33	33	26
Оптимальная концентрация смачивателя, %	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05
Смачивающая способность пыли раствором ПАВ, масс. %	89,1	68,3	70,4	77,7	84,9	86,7	89,5
Плотность, г/см ³	1,30	1,33	1,34	1,32	1,30	1,42	1,42
Специфическая работа смачивания пыли, ед.	2004	3955	2958	3227	1516	1445	1135

При соотнесении результатов двух способов определения смачивающей способности угольной пыли растворами ПАВ: гравиметрического и гранулометрического анализов смоченной части, можно получить достаточно хорошую сходимость с корреляцией 0,907 (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что при меньшем полученном значении специфической работы

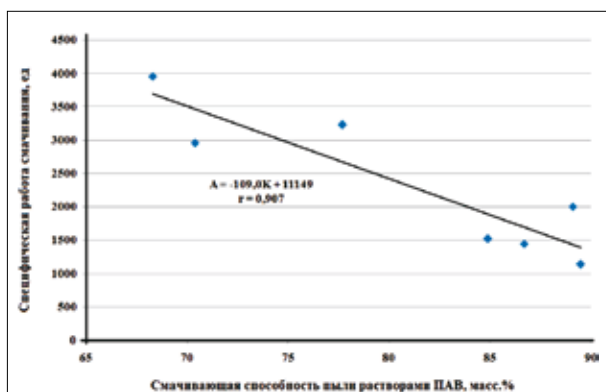


Рисунок 3 – График зависимости двух различных способов определения смачивающей способности пыли растворами ПАВ «Неолас»

смачивания пыли улучшается смачивающая способность раствора ПАВ. Способ гранулометрического анализа смоченной части для определения смачивающей способности угольной и углепородной пыли растворами ПАВ позволяет получить приемлемые результаты при меньшем затратах времени на испытания по сравнению с гравиметрическим методом со средним значением коэффициента вариации результатов порядка 9 % по зависимости:

$$K = \frac{11149 - A_c}{109}, \quad (3)$$

где K – смачивающая способность растворов ПАВ по отношению к пыли угольных шахт, %;

A_c – специфическая работа смачивания пыли, ед.;

При динамическом воздействии жидкости на пылевые частицы на процесс смачивания влияют внешние силы. Причем, чем больше работа внешних сил, определяемых в основном

кинетической энергией распыленной жидкости, тем эффективнее смачивается пыль. Используя выводы и формулы работы [1], возможно получить расход жидкости, необходимый для полного смачивания пыли в динамических условиях:

$$m = \frac{1,23\sigma_{cm}(1 - \cos\theta)P_s S_o b d^4}{\rho_g \eta k^2}, \quad (4)$$

где b – сопротивление распылителя, $1/\text{м}^2$;
 d – диаметр выходного отверстия, м;
 p_g – давление жидкости в трубопроводе, Па;
 $\eta = 0,3-0,5$, k – коэффициент снижения скорости вылета капель (на удалении 2-3 м от распылителя $K = 0,1-0,15$).

При этом $S_o = \frac{S_c}{\rho}$ (5), где S_c – удельная

специфическая поверхность исходной пробы пыли, $\text{см}^2/\text{см}^3$; ρ – плотность угля, $\text{г}/\text{см}^3$. То есть для определения расхода жидкости, требуемого для полного смачивания пыли в динамических

условиях горных выработок дополнительно необходимо знать плотность угля, поверхностное натяжение раствора смачивателя, пылеотложение горной выработки, параметры форсунки, через которую подается раствор смачивателя.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Представлен новый способ определения смачивающей способности пыли водными растворами ПАВ, суть которого заключается в расчете удельной поверхности смоченной части пыли с помощью автоматизированного гранулометрического анализа.

2. Новый способ позволяет получить приемлемые результаты по формуле (3) (корреляция 0,907 в сравнении с гравиметрическим способом) при затрате значительно меньшего времени на испытания и коэффициентом вариации результатов 9 %.

3. Представленный способ может быть использован при расчете расхода жидкости, необходимого для полного смачивания пыли в динамических условиях горных выработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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. – 304 с.
- Выбор оптимальной концентрации растворов поверхностно-активных веществ по отношению к пыли угольных шахт для борьбы с запыленностью / С. И. Голоскоков и др. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 2. – С. 5–9.

THE METHOD FOR THE DETERMINATION OF WETTING ABILITY OF COAL MINE DUST BY SURFACTANTS

S. I. Goloskokov, N. M. Nedosekina, M. S. Sazonov, Ye. I. Goloskokov, N. A. Terentieva

The new method for the determination of wetting ability of coal dust by surfactants, which essence consists in calculation, its essence consists in calculation of specific surface of wetted dust part with automatic grain size measurement.

Key words: WETTING ABILITY, DUST SUPPRESSION, SURFACTANTS EFFICIENCY ESTIMATION

Голоскоков Сергей Иванович
 e-mail: s.goloskokov@nc-vostnii.ru

Недосекина Нина Михайловна
 e-mail: jajabingsms@gmail.com

Сазонов Михаил Сергеевич
 e-mail: jajabingsms@gmail.com

Голоскоков Евгений Иванович
 e-mail: kem.tdu@mail.ru

Терентьева Наталья Анатольевна
 e-mail: tna.nc-vostnii@yandex.

В. А. Портола

д-р техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Куз ГТУ им. Т. Ф. Горбачева», профессор ЮТИ ТПУ

А. А. Дружинин

канд. техн. наук, и.о. генерального директора ОАО «НИИГД»

В. И. Храмцов

канд. техн. наук, директор Института промышленной и экологической безопасности ФГОУ ВПО «Куз ГТУ им. Т. Ф. Горбачева»

УДК 622.271

СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЦИИ ОЧАГОВ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ

Приведены результаты исследования пожарной опасности шахт Кузбасса и эффективности применяемых способов обнаружения самовозгорания угля в шахтах. Установлено, что вынос угольной пыли в выработанное пространство затрудняет обнаружение ранней стадии самовозгорания газоаналитическим методом из-за увеличения образования индикаторных газов при низкотемпературном окислении. Рекомендовано расширить использование для обнаружения самовозгорания угля радон и жидкий аэрозоль, появляющийся в воздухе после фильтрации через очаг самонагревания.

Ключевые слова: САМОВОЗГОРАНИЕ, ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО, УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ, РАДОН, ГАЗОВЫЕ СЪЕМКИ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, ПОДЗЕМНЫЕ ПОЖАРЫ

Одним из самых распространенных видов аварий на шахтах Кузбасса являются пожары, причем в последние годы среди подземных пожаров преобладают эндогенные, возникающие в результате самовозгорания горючего материала. Для развития самовозгорания необходим горючий материал, окисляющийся кислородом воздуха при естественной температуре окружающей среды. Непрерывное выделение тепла от реакции окисления требует постоянного притока воздуха к активным центрам, расположенным на поверхности материала. В зависимости от активности, теплофизических характеристик материала, скорости притока воздуха и условий теплообмена с окружающей средой процесс самовозгорания может длиться от нескольких часов до сотен суток.

Наиболее часто самовозгораются бурый и каменный уголь, торф, сульфидные руды, горючие сланцы. Очаги самовозгорания возникают в скоплениях разрыхленного угля, обеспечивающих фильтрацию воздуха и незначительные потери тепла из-за небольшого коэффициента теплопроводности пористой структуры. В начале процесса самовозгорания в угле имеется незначительное количество активных центров, способных взаимодействовать с кислородом,

поэтому поддерживается кинетический режим горения. По мере повышения температуры угля количество активных центров возрастает, возникает дефицит кислорода, и процесс горения смещается в область диффузионного горения. При достижении температуры самовоспламенения из-за большой активности горючего материала кислород во внутреннем объеме скопления практически исчезает и появляется пламя, в котором взаимодействуют образующиеся из угля горючие газы с кислородом воздуха. В возникающем чисто диффузионном режиме горения температура перестает возрастать вследствие лимитирующего действия молекулярной диффузии горючего газа из угля и кислорода из окружающего воздуха в зону горения.

Пожары в шахтах угрожают здоровью и жизни людей по причине выделения токсичных продуктов, снижения концентрации кислорода. Подземные пожары способны вызвать взрывы горючих газов и угольной пыли, под действием высокой температуры могут обрушиться горные выработки, нарушиться проветривание в шахте. Действующие подземные пожары значительно осложняют ведение горных работ, приводят к потере подготовленных к выемке запасов угля, дорогостоящей угледобывающей техники, тем самым наносят шахтам огромный экономиче-

ский ущерб, связанный с проведением работ по их тушению.

Особенно сложным считается тушение эндогенных пожаров, большая часть из которых возникает в результате самовозгорания угля в выработанном пространстве, что затрудняет их обнаружение на ранней стадии развития. В случае отсутствия точных данных о состоянии и местонахождении очага пожара резко снижается эффективность подачи хладагента. Поэтому для ликвидации очагов самовозгорания, возникающих в выработанном пространстве, в основном используется комбинированный способ тушения, предусматривающий изоляцию пожарного участка с подачей хладагента.

Проведенный анализ показал, что очаги самовозгорания возникали на шахтах Кузбасса в течение всего периода добычи угля. Наиболее пожароопасным в регионе является Прокопьевско-Киселевское месторождение, к особенностям которого относится наличие крутопадающих, химически активных пластов угля. Так, за период с 1951 по 1961 г. только на шахтах этого района ежегодно возникало до 43 эндогенных пожаров [1]. В последующие годы число эндогенных пожаров постепенно снижалось благодаря применению разработанных способов профилактики самовозгорания угля. Особенно резкое снижение количества ежегодно возникающих эндогенных подземных пожаров наблюдалось с началом реструктуризации угольной промышленности России, приведшей к закрытию шахт с наиболее

сложными и опасными условиями труда. Так, в 1990–1998 гг. на всех шахтах России каждый год регистрировалось около 30 эндогенных пожаров, в том числе около 20 в Кузбассе, а с 1999 г. это число снизилось до 10–15 (в Кузбассе около 10 случаев) [2].

Применение более совершенной и высокопроизводительной угледобывающей техники привело к дальнейшему снижению количества возникающих на шахтах экзогенных и эндогенных пожаров. Общее количество подземных пожаров, возникших на шахтах Кузбасса за последние годы, приведено в таблице 1.

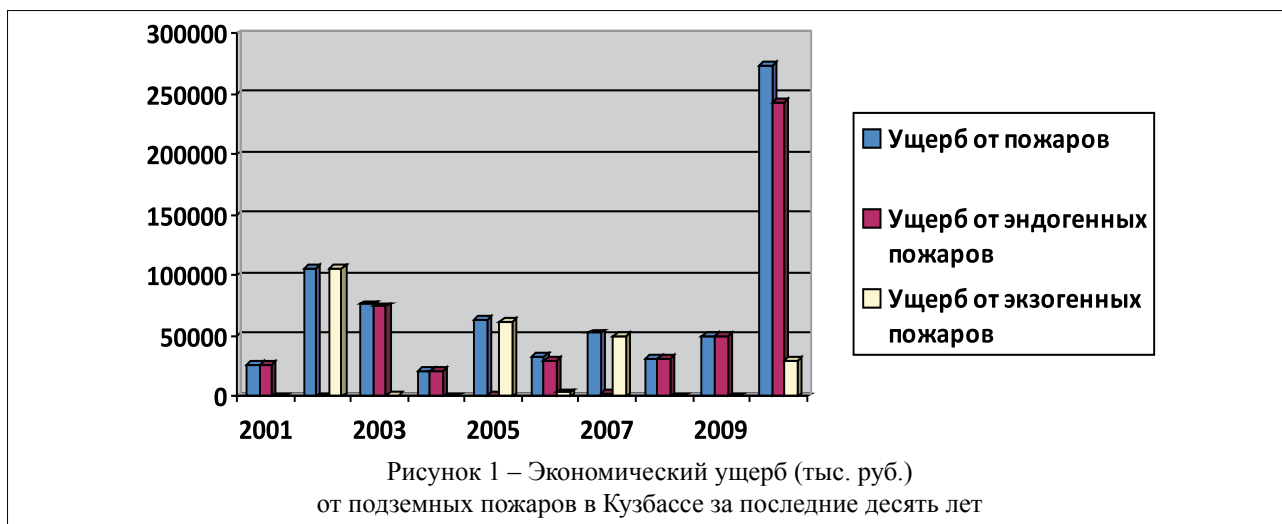
Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что общее количество ежегодно возникающих подземных пожаров, особенно эндогенного происхождения, резко сократилось в 2000 году. Следующее существенное снижение произошло в 2005 году. В последующие годы число ежегодно регистрируемых подземных пожаров остается на одном уровне. Причем большую часть подземных пожаров (более 70 %) составляют пожары от самовозгорания угля. Так, за последние три анализируемые года возникло только два экзогенных пожара и восемь эндогенных.

Экономический ущерб, причиненный подземными пожарами угольным шахтам Кузбасса за последние годы, представлен на рисунке 1.

Приведенные на рисунке 1 данные свидетельствуют, что наибольший экономический ущерб на угольных шахтах обусловлен эндо-

Таблица 1 – Количество подземных пожаров, возникших на шахтах Кузбасса

Год	Общее количество подземных пожаров	Количество эндогенных пожаров	Количество экзогенных пожаров
2010	6	4	2
2009	2	2	-
2008	2	2	-
2007	5	3	2
2006	4	3	1
2005	4	2	2
2004	8	8	-
2003	7	6	1
2002	6	2	4
2001	7	6	1
2000	6	3	3
1999	10	8	2
1998	19	12	7
Всего за период	87	62	25



генными пожарами. Так, на их долю приходится около 62 % от ущерба, причиняемого всеми подземными пожарами. Потери, вызванные пожарами, в том числе эндогенного происхождения, в последние годы незначительно колеблются относительно среднего уровня. Исключение составляет 2010 г., когда произошло резкое увеличение экономического урона, наносимого эндогенными пожарами. В последние три анализируемых года основные экономические потери происходят из-за возникновения самовозгорания угля. Например, за период с 2008 года по 2010 год ущерб от эндогенных пожаров превышает 90 % от общих потерь.

Значительно снизить экономический ущерб от эндогенных пожаров позволяет своевременное обнаружение процесса самовозгорания, что позволяет быстро и с минимальными затратами ликвидировать очаги в выработанном пространстве. Так, в 2009 г. ущерб от двух возникших эндогенных пожаров составил 49 млн 999 тыс. руб., а средние экономические потери от одного пожара достигли 24 млн 999,5 тыс. руб. В этот же год на шахтах Кузбасса были зарегистрированы четыре инцидента, закончившиеся быстрой ликвидацией очагов самовозгорания на ранней стадии развития; общий экономический ущерб составил 15 млн 763 тыс. руб., а средние потери от одного инцидента равны 3 млн 940 тыс. руб. Из приведенных данных видно, что в случае раннего обнаружения и быстрой ликвидации очага самовозгорания средний экономический ущерб снижается в 6,3 раза.

В настоящее время наибольшее распространение на шахтах получили химико-аналитические методы обнаружения и контроля процессов самовозгорания угля. В качестве индикаторов эндогенного пожара используются оксид углерода, водород, предельные и непре-

дельные углеводороды. Для обнаружения оксида углерода в рудничной атмосфере в горных выработках устанавливаются стационарные датчики, непрерывно измеряющие состав рудничной атмосферы. Сотрудники шахты определяют содержание оксида углерода экспресс-методом, переносными газоанализаторами. Пробы газа периодически отбираются для анализа в лабораторных условиях на хроматографах.

Сложность обнаружения ранней стадии самовозгорания угля по концентрации оксида углерода, водорода, предельных и непредельных углеводородов вызвана их выделением не только при повышении температуры, но и при низкотемпературном окислении угля, а также при разрушении угля. Причем в последние годы ситуация ухудшается в связи с внедрением высокопроизводительной угледобывающей техники, работа которой сопровождается образованием большого количества пыли.

Для оценки влияния размера частиц угля на интенсивность выделения различных газов были проведены эксперименты. Пробы угля помещали в стеклянные емкости, герметично закрывали и выдерживали в течение 24 часов при температуре 25 °С. Затем на хроматографе определяли состав газов в отобранной пробе. Уголь вновь помещали в емкость с атмосферным воздухом и через 24 часа вновь анализировали пробу отобранного газа. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

В результате проведенных исследований выявлено, что со снижением размера частиц угля происходит увеличение образования при низкотемпературном окислении таких газов, как оксид углерода, водород, этан, этилен, пропан. Так, содержание оксида углерода в воздухе после контакта с углем фракции 0,062-0,2 мм

Таблица 2 – Состав газов в пробах угля разной фракции

Состав газов	Уголь фракции 1-3 мм		Уголь фракции 0,064-0,2 мм	
	Через 24 часа	Через 48 часов	Через 24 часа	Через 48 часов
CO ₂	0,47	0,31	0,22	0,30
O ₂	11,20	14,57	6,43	11,44
CO	0,0256	0,0285	0,0810	0,0818
H ₂	0,0000	0,0002	0,0008	0,0003
CH ₄	20,46	9,13	9,16	1,32
C ₂ H ₆	0,01690	0,01014	0,02949	0,02244
C ₂ H ₄	0,00000	0,00004	0,00024	0,00008
C ₂ H ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
C ₃ H ₈	0,00593	0,00426	0,00805	0,00732
C ₃ H ₆	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000
И-C ₄ H ₁₀	0,00137	0,00092	0,00251	0,00217
Н-C ₄ H ₁₀	0,00078	0,00616	0,00064	0,00061

достигло через 24 часа 0,081 %. Однако с уменьшением размера частиц угля наблюдается снижение концентрации углекислого газа и метана. Единственным газом, не выделяющимся при низкотемпературном окислении, является ацетилен.

Данные показывают, что интенсивное выделение оксида углерода при естественных температурах окружающей среды затрудняет обнаружение ранней стадии самовозгорания. Определение фонового значения индикаторных газов в обрабатываемых лавах зачастую не повышает эффективность выявления очагов самовозгорания, так как отбор проб производится в начале работы лавы. По мере работы лавы в выработанном пространстве увеличивается масса угольной пыли, мелких частиц угля, что может существенно увеличить интенсивность выделения индикаторных газов при низкотемпературном окислении.

Учитывая низкую эффективность газоаналитического метода обнаружения ранней стадии процесса самовозгорания угля в шахтах, необходимо применять и другие способы идентификации очагов самовозгорания. Так, для обнаружения и определения местонахождения очагов подземных пожаров предложено использовать газовую съемку, проводимую на земной поверхности [3]. Один из вариантов проведения такой съемки предусматривает пробивку скважин на земной поверхности глубиной около 1 м и определение в ней концентраций индикаторных пожарных газов, появление которых свидетельствует о наличии очага. Преимуществом способа является возможность определить местонахождение очага в выработанном пространстве. Недостатком – сложность обнаружения процес-

са самовозгорания на ранней стадии, когда тепловая депрессия, развиваемая очагом, еще не формирует конвективный поток газов от очага к поверхности.

На практике реализуются предложения использовать для обнаружения и локализации очагов эндогенных пожаров выделение радиоактивного газа радона, образующегося в горных породах и угле при распаде радия [3, 4]. При повышении температуры выделившийся радон, ранее сорбированный на поверхности угля, начинает выделяться в окружающую атмосферу и потоками воздуха разносится к действующим горным выработкам, земной поверхности. В основном используется поверхностная радовая съемка, позволяющая обнаружить выделения радона с земной поверхности. Появление зон с аномальным повышением концентрации радона свидетельствует о наличии очага самовозгорания в выработанном пространстве, а также позволяет определить местонахождение очагов самовозгорания, так как аномалия радона на поверхности является проекцией подземного очага. Однако остается проблема обнаружения ранней стадии процесса самовозгорания из-за незначительных конвективных потоков к поверхности от небольших по размеру и температуре очагов.

На шахтах Кузбасса применяется способ обнаружения ранней стадии самовозгорания угля по изменению влагосодержания воздуха во входящей и исходящей из выработанного пространства струе воздуха, и по их соотношению делается вывод о наличии очага самонагрева [5]. Недостатком данного способа является то, что при относительной влажности воздуха, близкой к 100 %, как на входящей, так и на ис-

ходящей струе воздуха, выявить изменение влагосодержания практически невозможно. Также в условиях с повышенной относительной влажностью воздуха, входящего в выработанное пространство, возможно образование конденсационного аэрозоля, содержание которого в рудничном воздухе в данном случае не контролируется.

Для повышения эффективности раннего обнаружения очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве необходимо замерять общее количество содержания в воздухе водяного пара и жидкого аэрозоля во входящей и исходящей из контролируемого участка струе [6–8]. В случае, если в выработанном пространстве образовался очаг самонагревания угля, то в воздухе кроме пара появляется жидкий аэрозоль, который образуется при следующих условиях. Сначала поступающий воздух нагревается в очаге самонагревания и его относительная влажность уменьшается, стимулируя испарение влаги из угля и пород. В результате испарения начальной влаги угля и воды, образующейся при химических реакциях окисления, влагосодержание воздуха возрастает. Пройдя очаг самонагревания, прогретый воздух быстро остывает в выработанном пространстве до естественной температуры угля и вмещающих пород. Этот процесс сопровождается увеличением относительной влажности воздуха до 100 % с последующей конденсацией избытка влаги, выделившейся из разогретого угля. В этом случае количество влаги в исходящем воздухе будет выше максимальной влажности входящего воздуха за счет содержания в нем жидкой фазы.

Критерий для обнаружения процесса самонагревания, учитывающий суммарное количество влаги в воздухе в виде пара и жидкости, образующей мелкодисперсные взвешенные аэрозоли, можно представить в следующем

виде:

$$K = 0,622 \frac{P_p \varphi}{P_o - P_p \varphi} + M.$$

где P_p – давление насыщенного водяного пара, Па; P_o – барометрическое давление воздуха, Па; φ – относительная влажность воздуха; M – количество жидкого аэрозоля в воздухе, кг/кг.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Обнаружение очагов самовозгорания на ранней стадии позволяет быстро ликвидировать опасную ситуацию и существенно снизить экономический ущерб, наносимый эндогенными пожарами.

2. При низкотемпературном окислении угля выделяются индикаторные газы, которые используются для обнаружения самовозгорания, но не могут применяться для выявления ранней стадии процесса.

3. По мере уменьшения размера частиц угля увеличивается интенсивность образования индикаторных газов, используемых для обнаружения самовозгорания угля.

4. Поверхностные газовая и радоновая съемки малоэффективны для обнаружения ранней стадии процесса самовозгорания из-за незначительной тепловой депрессии разогретого угля, способствующей выносу индикаторных газов к земной поверхности.

5. Для обнаружения ранней стадии процесса самовозгорания угля целесообразно измерять содержание в рудничной атмосфере суммарное количество пара и жидкого аэрозоля, образующегося при остывании воздуха, прошедшего через разогретый уголь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитрюк, Н. Ф. Борьба с подземными пожарами от самовозгорания угля / Н. Ф. Дмитрюк, Ф. Ф. Эйнер, К. М. Ремезов, З. Л. Рыкова. – Москва, 1962. – 128 с.
2. Портола, В. А. Обоснование и разработка способов обнаружения, локации и контроля за ходом тушения очагов самовозгорания угля в шахтах: дис. ... д-ра. техн. наук / В. А. Портола. – Кемерово, 2002. – 317 с.
3. Портола, В. А. Локация очагов подземных пожаров с поверхности / В. А. Портола ; под ред. В. А. Колмакова ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2001. – 176 с.
4. Портола, В. А. Контроль подземных эндогенных пожаров по выделению радона с земной поверхности / В. А. Портола // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 2. – С. 5–7.
5. Портола, В. А. Обнаружение очагов самовозгорания угля на ранней стадии развития / В. А. Портола, С. Н. Лабукин // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 4. – С. 34–37.
6. Портола, В. А. Способ и устройство идентификации самонагревания угля в шахтах / В. А. Портола, С. Н. Лабукин // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2009. – № 6. – С. 42–45.

7. Портола, В. А. Контроль эндогенной пожароопасности шахт по теплофизическим параметрам воздуха / В. А. Портола, С. Н. Лабукин // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 65–70.

WAYS OF DETECTION AND LOCATION OF UNDERGROUND FIRES CENTERS

V. A. Portola, A. A. Druzhinin, V. I. Hramtsov

The results of fire risk research of Kuzbass mines and efficiency of used methods of spontaneous combustion of coal in mines are given. It is established that the coal dust removal in the gob area complicates to detection of early stages of spontaneous combustion gas analytical method due to formation of indicator gases at low-temperature oxidation. It is recommended to expand use of detection of self-ignition of coal radon and the liquid aerosol appearing in air after a filtration through the center of self-heating.

Key words: SPONTANEOUS COMBUSTION, GOB AREA, COAL DUST, RADON, GAS, SURVEY, MOISTURE CONTENT, SUBSURFACE FIRE

*Голоскоков Сергей Иванович
e-mail: s.goloskokov@nc-vostnii.ru*

*Недосекина Нина Михайловна
e-mail: jajabingsms@gmail.com*

*Сазонов Михаил Сергеевич
e-mail: jajabingsms@gmail.com*

*Голоскоков Евгений Иванович
e-mail: kem.tdu@mail.ru*

*Терентьева Наталья Анатольевна
e-mail: tna.nc-vostnii@yandex*



**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА**

БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЯКОВ – НАША РАБОТА

реклама

Научно-исследовательский институт горноспасательного дела основан в 1933 году. За десятилетия работы институт принял участие в тушении сотен подземных пожаров, выполнил сотни экспертиз проектов по безопасности ведения горных работ в шахтах. ОАО «НИИГД» является головной организацией по проблемам противоаварийной и противопожарной защиты предприятий угольной промышленности России. Для обеспечения эндогенной пожарной безопасности угольных предприятий Кузбасса в 2012-2013 годах работниками ОАО «НИИГД» выполнено более 240 научно-практических работ.

В 2014 году ОАО «Научно-исследовательский институт горноспасательного дела» возобновил деятельность «Лаборатории вентиляции и дегазации угольных шахт», «Лаборатории комплексного обеспыливания и пылевзрывозащиты», а также создал новую лабораторию «Электротехники, АСУ ТП и КИПа» и тем самым значительно расширил спектр выполняемых услуг в области промышленной безопасности.

В настоящее время ОАО «НИИГД» выполняет проекты и экспертизы промышленной безопасности, разрабатывает рекомендации и мероприятия, проводит технические аудиты в части прогноза и профилактики эндогенной пожароопасности, вентиляции и дегазации, борьбы с пылью и электробезопасности угольных предприятий, разрабатывает инженерно-технические мероприятия ГО и ЧС и паспорта безопасности.

Наш контакты :
650002, г. Кемерово, пр. Шахтёров, 14
Тел.: 8(3842) 64-19-60, 64-25-71



III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

TECHNOLOGICAL QUESTIONS OF MINING WORK SAFETY

Е. Н. Козырева

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Института угля СО РАН

УДК 622.411.33

ГАЗОВЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ УЧАСТКОВ УГЛЕМЕТАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ

Выполнена оценка газовых потенциалов угольных месторождений по геологоразведочным данным на примере разрабатываемых участков Ленинского месторождения Кузбасса, установлены особенности их распределения по площади и глубине залегания. Показано, что реализация газовых потенциалов на выемочный участок при подземной разработке сопровождается периодическими изменениями метанообильности, требующими соответствующих мероприятий по нормализации газовой обстановки в горных выработках. Приведены примеры влияния порядка отработки пластов в свете и частичной отработки вышележащего пласта на динамику метанообильности выемочного участка.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 99 и партнерского интеграционного проекта СО РАН № 100.

Ключевые слова: УГЛЕМЕТАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ГАЗОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК, МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ

Содержащийся в угольных месторождениях метан создает реальную опасность ведения горных работ. Однако при проектировании и эксплуатации шахт ресурсы метана в массиве горных пород и их реализация на выемочные участки согласно действующим нормативным документам рассчитываются приближенно, что особенно негативно сказывается на высокой производительности забоев, причем в динамической форме [1–3]. Параметры процесса газовыделения непостоянны даже в пределах одного выемочного участка по причине не только неравномерности технологической (например, скорости подвигания забоя), но и неравномерности газосодержания основных источников (разрабатываемый пласт, подрабатываемый и надрабатываемый массивы). Длина современных выемочных столбов может достигать нескольких километров, поэтому такие величины, как глубина залегания выемочных столбов, газоносность обрабатываемых пластов и др. нельзя оценивать по некоторому среднему значению. Именно такое усреднение геологораз-

ведочных данных имеет место в применяемых сегодня нормативно-методических положениях. Новизна исследований, проводимых ИУ СО РАН в этой области, заключается в выполнении расчета ресурсов метана по многим геологоразведочным скважинам в пределах рассматриваемого шахтоучастка с применением методов пространственного моделирования, что позволяет учесть объемную изменчивость газокинетических свойств массива в пределах выемочных столбов. Это существенно повышает точность прогноза газопроявлений при ведении горных работ и обеспечивает основу текущего прогноза метанообильности участка при планировании декадных и месячных показателей.

С целью решения оперативных задач рудничной аэрогазодинамики, в том числе для обеспечения расчета и прогноза динамики метановыделения на комплексно-механизированных выемочных участках шахт Кузбасса, в Институте угля СО РАН ведется разработка программно-методического обеспечения при помощи современных компьютерных технологий. Базой для

информационного обеспечения оценки изменчивости газокинетических характеристик угленосных пластов и массива горных пород являются горно-геологические и горно-технологические данные [4, 5].

Оценка газокинетических процессов в массиве газоносных горных пород связана с распределением газового потенциала массива. Данную величину наиболее удобно учитывать через геологический газовый потенциал (природные ресурсы метана), который рассчитывается исходя из стратиграфических характеристик залежи, влияющих на величину и динамику реализации ее газового потенциала по основным направлениям стоков газа. Очевидно, что чем ближе к разрабатываемому пласту сосредоточена большая часть газового потенциала, тем интенсивнее его выделение при отработке пласта.

Основной метода оценки геологического газового потенциала является расчет запасов газа на единицу площади горизонтальной поверхности в зоне каждой геологоразведочной скважины и интерполяция этих данных на рассматриваемую площадь в пределах заданного контура.

Источником исходных данных является геолого-маркшейдерская и горно-технологическая документация шахт.

Расчеты, выполненные на примере разрабатываемых участков Ленинского месторождения Кузбасса, показали, что основными природно-технологическими причинами негативных последствий интенсификации подземных горных работ являются:

- высокий газовый потенциал горного блока;
- высокая изменчивость газового потенциала по оси выемочных столбов;
- динамическая реакция массива на рост скорости подвигания забоя.

Ниже приведены примеры графического отображения результатов расчета для горного отвода шахты «Заречная», отрабатывающей пологие пласты Ленинского месторождения на западной окраине средней части Кузбасса, размером 1 800 м². Рассматриваемая глубина составила 300–550 м.

На рисунке 1 показаны расчетные значения и распределение геологических ресурсов метана пластов и вмещающих пород междупластий в виде объемной модели. Из рисунка видно, что выделяются участки, где газовый потенциал, измеряемый в сотнях м³ метана на м² дневной поверхности, наиболее высок, либо места с пониженным газосодержанием.

На рисунке 2 этот же участок представлен

в виде плоской модели. Показаны местоположения лав по Надбайкаимскому пласту, треугольниками отмечены геологоразведочные скважины, по которым выполняется расчет газовых потенциалов, изолиниями – значения суммарного геологического газового потенциала (от дневной поверхности до зоны влияния надработки). Видно, что в пределах указанных участков имеются значительные изменения газовых потенциалов, существенные для выбора проектных решений.

В рассматриваемом примере расположение столбов по простиранию влияет на изменения газовых потенциалов массива сильнее, чем изменения газоносности. Основной причиной этому является сокращение угленосности подрабатываемого массива с приближением к поверхности. Данные показывают, что даже при относительно небольшой протяженности выемочных

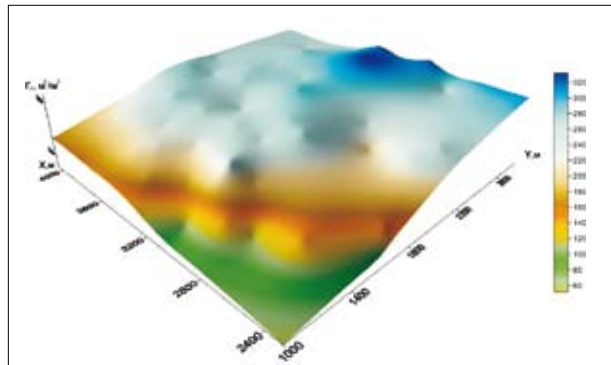


Рисунок 1 – Компьютерная карта (объемная модель) распределения геологического газового потенциала G_g участка горного отвода Ленинского месторождения Кузбасса

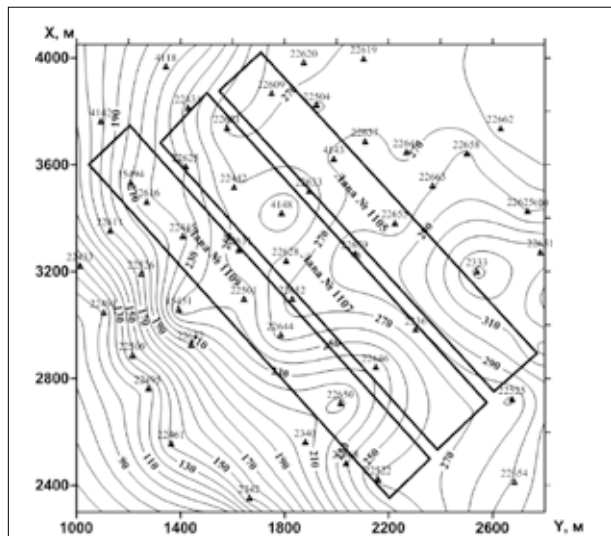


Рисунок 2 – Компьютерная карта (плоская модель) распределения геологического газового потенциала G_g участка горного отвода Ленинского месторождения Кузбасса

столбов совокупное влияние рельефа поверхности, углов падения пласта и оси выемочного столба на восстание приводит к значительным изменениям газокинетических характеристик углегазозносного массива, определяющих его реакцию на технологическое воздействие.

При ведении горных работ на выемочный участок выделяется не весь геологический газовый потенциал массива, а только его часть – технологический газовый потенциал (технологические ресурсы метана). При его оценке учитывается удаленность подрабатываемых и надрабатываемых пластов от обрабатываемого пласта, определяющая долю снижения геологического газового потенциала каждого пласта в результате очистных работ.

На рисунке 3 представлено пространственное распределение технологических ресурсов метана для рассматриваемого участка горного отвода в условиях, когда пласты Полысаевский 1 и Полысаевский 2 отработаны ранее. Сопоставление данных рисунков 1 и 3 показало, что принятый порядок отработки пластов в свите существенно (до 2 раз) снижает газовые ресурсы массива при отработке следующего пласта.

Влияние порядка отработки пластов в свите на изменение технологического газового потенциала горного блока более детально представлено на рисунке 4.

Выполненные оценки наглядно показывают высокую изменчивость природных свойств массива и объясняют трудности предвидения следствий технологических решений по нормативным методам, как на стадии проектирования,

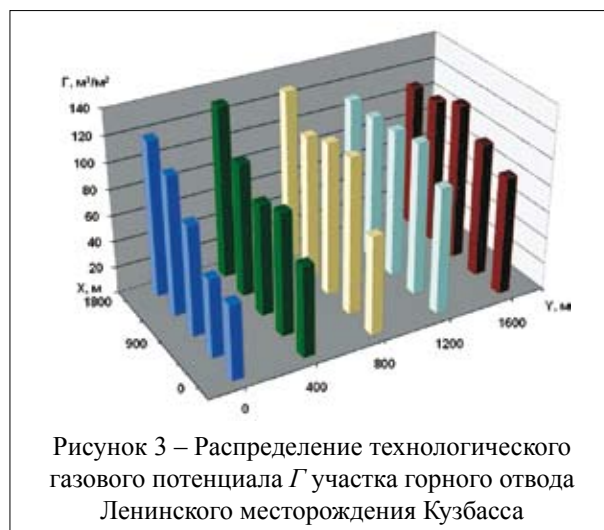


Рисунок 3 – Распределение технологического газового потенциала G участка горного отвода Ленинского месторождения Кузбасса

так и ведения горных работ. Отметим также, что при площади горного отвода в десятки квадратных километров существующие технологии приводят к безвозвратной потере миллиардов кубометров газа.

Представленные результаты указывают на необходимость существенных изменений в общепринятой методологии оценок свойств и состояний массива горных пород при современных технологиях подземной разработки углеметановых месторождений.

Анализ горнотехнологических данных высокопроизводительного выемочного участка подтвердил вывод о том, что массив реагирует динамическим метановыделением даже на незначительное изменение скорости подвигания забоя (увеличение, например, в 1,5 раза), причем как в выработанное пространство, так и из

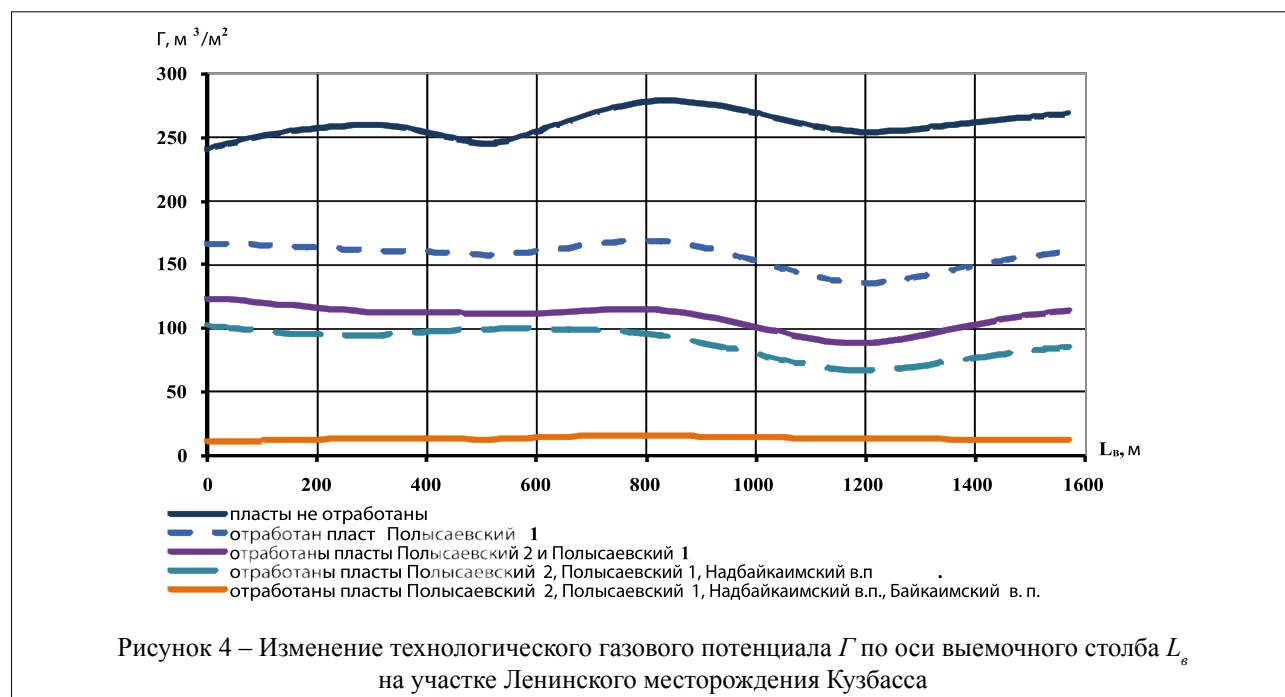


Рисунок 4 – Изменение технологического газового потенциала G по оси выемочного столба L_g на участке Ленинского месторождения Кузбасса

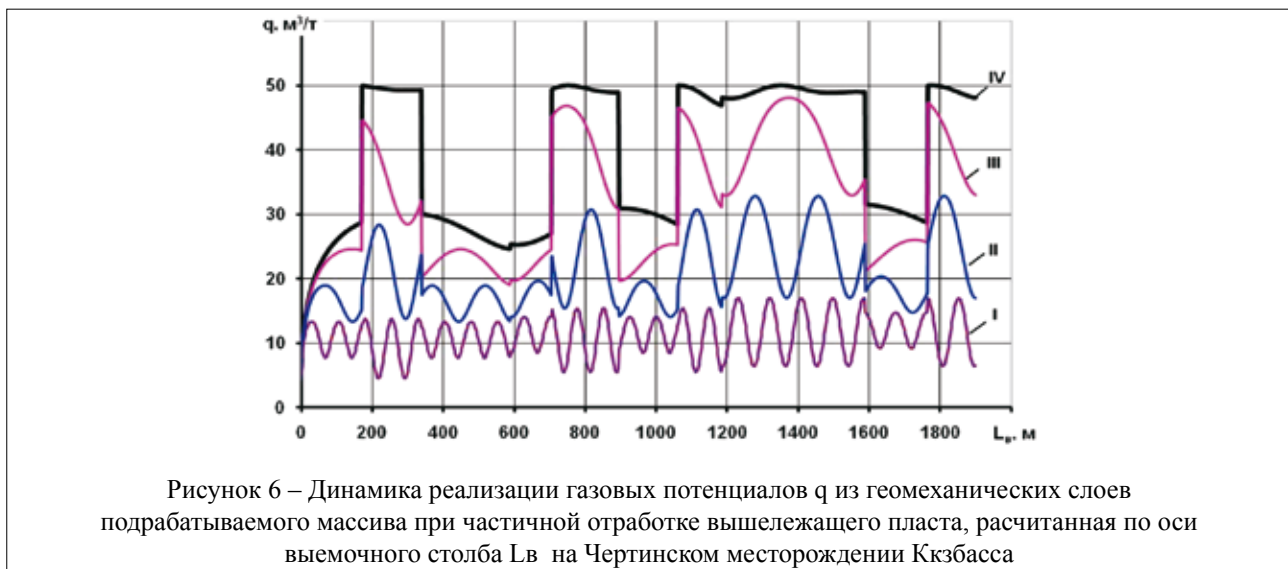
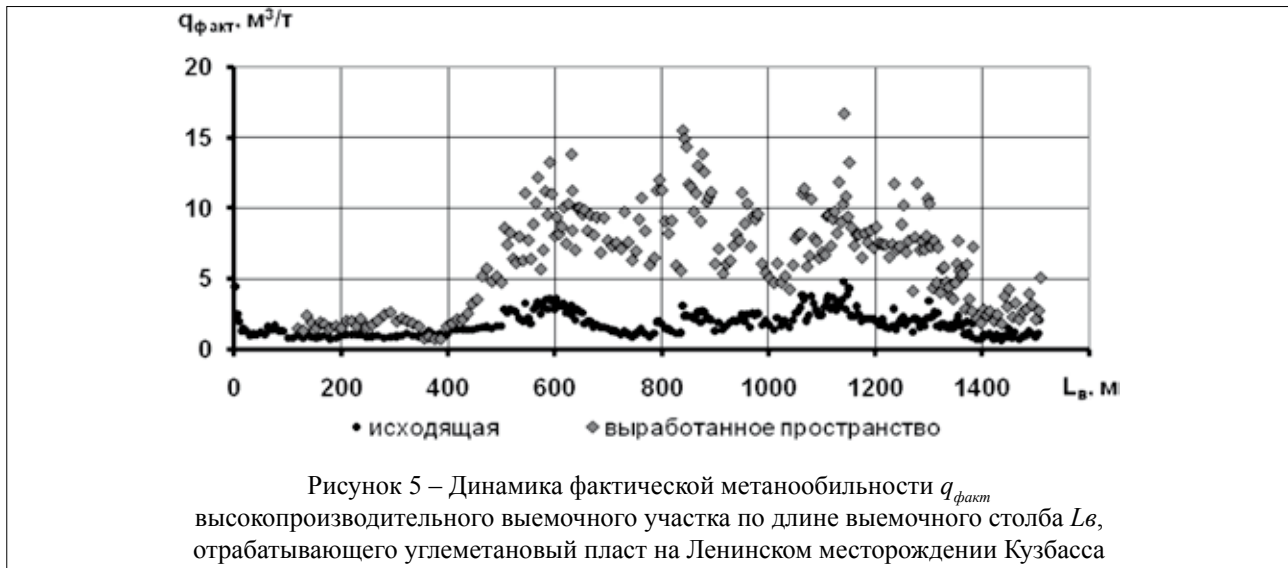
отрабатываемого пласта. На рисунке 5 представлены фактические значения относительной метанообильности выемочного участка по длине столба.

Влияние неравномерности распределения геологического газового потенциала на метанообильность выемочного участка значительно усугубляется при частичной отработке вышележащих пластов (рис. 6). Так, по результатам расчета для выемочного участка на Чертинском месторождении Кузбасса, выявлены четыре интервала с двукратным превышением метанообильности среднего значения по участку. По притоку метана из подрабатываемого массива – это наиболее напряженные интервалы. На рисунке 6 обозначены геомеханические слои (I-IV) в подрабатываемом массиве (по вертикали от разрабатываемого пласта до дневной поверхности), в пределах которых происходит реализация технологического газового потенциала на выемоч-

ный участок.

В таких условиях необходимость пространственной оценки свойств и состояний горного массива при проектировании горных работ крайне необходима. Недостаток технологии безцеликовой выемки при работе высокопроизводительных выемочных участков выражается в трудно управляемой динамике метанообильности. Для снижения ее негативного влияния необходимо более обоснованно конкретизировать соответствующие инженерные мероприятия по нормализации газовой обстановки в горных выработках: уточнять график подвигания забоя, параметры комплексной схемы дегазации, источники повышенного газовыделения и места заложения дегазационных скважин [4, 5].

Полученные результаты исследований являются перспективными и практически значимыми, так как основаны на детальных значениях, учитывающих особенности горно-геологических



и горно-технологических характеристик конкретных участков месторождений.

При планировании горных работ, выборе технологий добычи угля, обосновании организационно-технических мероприятий, направленных на безопасность труда, необходимо учитывать, что обрабатываемые пласты не только угольные, но также углеметановые. С этих позиций и следует вести рациональное недропользование – добычу угля и извлечение метана.

В заключение отметим, что выявление областей массива с повышенным газовым потен-

циалом позволяет:

- устанавливать параметры систем заблаговременного извлечения метана;
- уточнять особенности реализации ресурсов метана в массиве на изменение его геомеханического состояния при ведении горных работ;
- корректировать параметры технологий горных работ на газоносных пластах, сводя к минимуму негативные следствия декларативных заключений;
- мотивировать перспективность проектирования комплексных участков по добыче угля и извлечению газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полевщиков, Г. Я. Влияние процессов разгрузки и сдвижений вмещающих пород на выделение метана из разрабатываемого пласта / Г. Я. Полевщиков, М. В. Шинкевич, Е. Н. Козырева, О. В. Брюзгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 139–143.
2. Полевщиков, Г. Я. Повышение эффективности комплексного управления газовыделением на выемочном участке шахты / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово. – 2012. – № 2. – С. 20–27.
3. Полевщиков, Г. Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г. Я. Полевщиков // ФТПРПИ. – Новосибирск. – 2013. – № 5. – С. 50–60.
4. Козырева, Е. Н. Зависимость динамики метанообильности очистного забоя от свойств обрабатываемого участка месторождения / Е. Н. Козырева, А. А. Рябцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение МЕТАН. – 2006. – С. 151–159.
5. Козырева, Е. Н. Компьютерные карты распределения газового потенциала массива для решения горных задач / Е. Н. Козырева, О. В. Брюзгина // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово. – 2009. – № 2. – С. 118–121.

GAS POTENTIAL OF COAL-METHANE FIELDS: FEATURES OF DISTRIBUTION AND REALIZATION

E. N. Kozyreva

The gas potentials assessment of coal fields according to geological prospecting data on the example of developed plots Lenin's field of Kuzbass; the specific features of their area and depth distribution are established. It is shown that the realization of gas potentials on the working areas during underground coal mining is accompanied by the periodic changes of a methane emission content demanding the relevant activities for normalization a gas situation in mine working. Examples of the influence of mining sequence and partial working of overlying coal seam on methane emission content dynamics of the working area are given. The work was carried out under financial support of Interdisciplinary Integration Project SB RAS № 99, Partner Integration Project SB RAS № 100.

Key words: COAL-METHANE FIELDS, GAS POTENTIAL, WORKING AREA, METHANE EMISSION CONTENT

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

С. А. Прокопенко

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

В. С. Лудзиш

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

В. В. Соболев

д-р техн. наук, заместитель генерального директора ОАО «НЦ ВостНИИ»

УДК 622.233:622.235:622.831

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛИТОСФЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ

Рассмотрены схемы обрушения пород кровли в очистных механизированных забоях и показаны масштабы потенциальной энергии деформируемой породной толщи. Выявлены особенности механизма обрушения пород кровли очистных выработок. Для превращения кинетической энергии обрушения породы в электрическую энергию разработана конструкция секции крепи с подвижной панелью, воспринимающей давление породных масс и передающей его на ротор электрогенератора. Получаемая электроэнергия используется для нужд очистного механизированного комплекса, сокращая объемы ее поставки с земной поверхности.

Ключевые слова: ПОРОДА, ОБРУШЕНИЕ, КРЕПЬ, СЕКЦИЯ, ПАНЕЛЬ, ЭНЕРГИЯ, ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР, ОЧИСТНОЙ КОМПЛЕКС

Основной технологией подземной угледобычи в Кузнецком бассейне в последние годы является отработка угольных пластов длинными столбами по простиранию с управлением кровлей путем полного обрушения. Очистная выемка угля из пластов сопровождается существенным изменением энергетического потенциала литосферы в районе подземных разработок: происходит обнажение и зависание больших площадей углевмещающей толщи, в результате чего накапливается энергия упругих деформаций горных пород; возникают дополнительные напряжения в зонах опорного давления; обрушение кровли сопровождается перемещением больших масс породы и нередко динамическими проявлениями (горными ударами); накапливающаяся энергия газовых и гидравлических сред стремится к перемещению флюидов в выработанное пространство и т. д. Так, отработка выемочного столба длиной 2 000 м и шириной 200 м по пласту мощностью 4 м приводит к образованию выработанного пространства объемом 1,6 млн м³, которое заполняется обрушаемыми породами кровли пласта, водой, газами. При этом высота зоны дезинтеграции пород значительно превышает высоту очистной выработки.

Известен ряд гипотез, объясняющих механизм поведения пород кровли. Согласно гипотезе шарнирных блоков Г. Н. Кузнецова [1] нагрузка на крепь создается весом породного блока АВСД, который поворачиваясь у забоя как вокруг жесткой опоры, отламывается по плоскости СД под углом γ к вертикали (рис. 1). Обрушение основной кровли происходит в форме блоков, которые опускаются на породные куски разрушенной непосредственной кровли.

Длину участка зависающей непосредственной кровли l можно рассчитать по формуле [1]:

$$l = \sqrt{\frac{2R_{us}h}{\gamma}}, \quad (1)$$

где R_{us} – предел прочности пород при изгибе, кг/см²;

h – мощность непосредственной кровли, мм;

γ – плотность пород, т/м³.

Схемы а и б, представленные на рисунке 2, характерны для случаев проявления взаимного распора между блоками с сохранением ими несущей способности в промежутках между



Рисунок 1 – Схема обрушения пород в очистном угольном забое

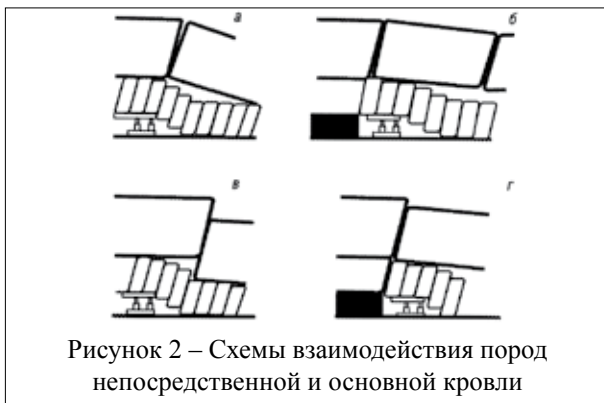


Рисунок 2 – Схемы взаимодействия пород непосредственной и основной кровли

осадками. Варианты обрушения в и г относятся к «тяжелым», что обусловлено утратой взаимного распора и потерей несущей способности блоков, приводящими к большим нагрузкам на поддерживающую крепь [2].

В процессе деформирования (вследствие очистной выемки пласта угля) в местах защемления мощных породных слоев основной кровли в зонах опорного давления за счет изгибающих моментов концентрируется большая потенциальная энергия упругого деформирования, нарастающая до момента обрушения пород, величину которой предлагается определять по формуле [2]:

$$W_r = Q^2 l^5 / 40EI, \quad (2)$$

где W_r – энергия упругой деформации, отнесенная к единице объема;

Q – нагрузка на единицу длины балки;

l – длина балки или шарнира выработки;

E – модуль Юнга;

I – момент инерции сечения балки.

По мнению некоторых авторов [2], энергия упругих деформаций пропорциональна пятой степени длины балки (l), поэтому длины зави-

сающей балки и лавы (a) являются определяющим фактором, влияющим на обрушение пород. Зависимость потенциальной энергии деформации пород кровли от длины лавы при зависании пролета равного длине лавы представлена на рисунке 3.

Анализ графиков показывает, что при длине лавы в 100 м энергетический потенциал горных пород достигает 500 тыс. Дж, а при увеличении длины до 200 м при тех же скоростях деформаций возрастает до 10 млн Дж. В работе [2] приводятся энергетические потенциалы горных ударов: слабых – 102 Дж, средних – 104 Дж, сильных – 106 Дж, землетрясений – более 106 Дж.

Помимо потенциальной энергии деформации горных пород после выемки угля в лаве возникает потенциальная энергия другого рода – зависания пород обнаженной кровли, что обусловлено образованием выработанного пространства и стремлением гравитационного перемещения пород с кровли на почву пласта.

По представлениям ученых СибГИУ, смещение пород кровли в окрестности горных выработок происходит в виде расслоения и последующего послойного сдвижения, ступенчатого

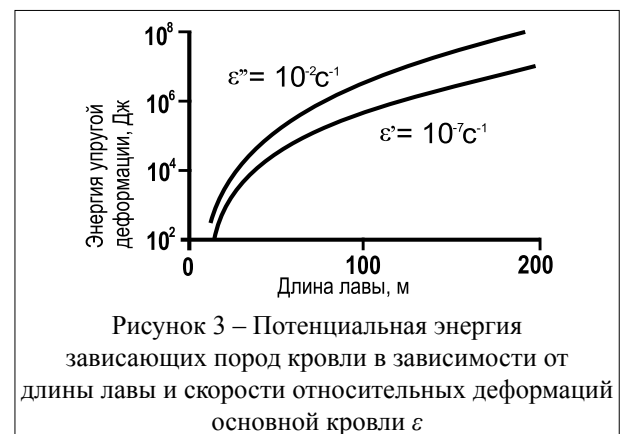


Рисунок 3 – Потенциальная энергия зависающих пород кровли в зависимости от длины лавы и скорости относительных деформаций основной кровли ϵ

опускания блоков по пересекающим слою трещинам, а также плавного опускания без видимых разрывов сплошности [3]. Зона дезинтеграции пород имеет, как правило, уступную форму и высоту, зависящую от свойств пород и подвигания лавы (рис. 4).

По мере подвигания забоя лавы в движение приходят новые участки подработанной толщи на высоту, равную от 3 до 5 и более мощностей пласта. Угол обрушения пород в выработанном пространстве составляет 50...90° [3].

В работе [4] отмечается, что беспорядочное обрушение пород над выработкой завершается, когда мощность обрушившихся и разрыхлившихся пород будет достаточна для создания подпора вышерасположенным породам. Высоту зоны обрушения $h_{обр}$ в однородном массиве предлагается рассчитывать по формуле:

$$h_{обр} = m/K_p - 1; \quad (3)$$

где m – вынимаемая мощность пласта, м;
 K_p – коэффициент разрыхления пород.

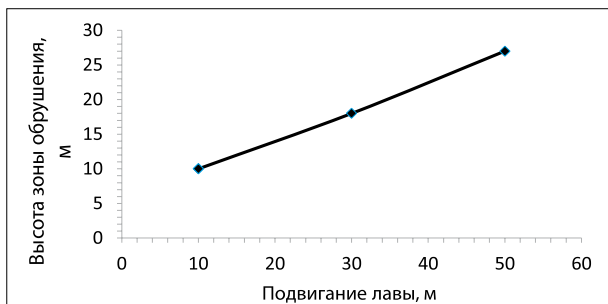


Рисунок 4 – Зависимость высоты зоны обрушения и деформаций массива над пластом $m = 2$ м от подвигания очистного забоя (по данным моделирования [3])

Моделирование процесса обрушения кровли отработываемого угольного пласта позволило выявить форму и характер трансформации образующегося пространства [2]. На рисунке 5 показан момент зависания кровли перед обрушением. Сверху размещена диаграмма, иллюстрирующая периодичность осадок. Согласно полученным результатам, обрушение породных слоев происходит последовательно снизу вверх через 2,5 м, 7,4 м и 30 м соответственно.

Для расчета потенциальной энергии пород подработанной кровли перед ее обрушением воспользуемся схемой (рис. 6).

Согласованная уступность неразрушенного и разрушенного массивов обусловлена неоднородностью и механизмом обрушения налегающей над пластом толщи. Рассмотрим единичный объем породы V_i , равный 1 м³, на почве каждого породного слоя. Наибольшей потенциальной энергией будет обладать единичный объем породы V_1 , расположенный на контакте с кровлей пласта. Располагаясь на глубине H_1 от земной поверхности, объем подвержен горному давлению, рассчитываемому по известной формуле:

$$\delta_1 = \gamma_{cp} H_1, \quad (4)$$

где γ_{cp} – средняя плотность пород кровли, кг/м³;

H_1 – глубина залегания первого кровельного слоя (непосредственная кровля) от земной поверхности, м.

Высота свободного пространства под этим слоем породы будет наибольшей и равной вынимаемой мощности пласта h_1 . Высота свободного пространства под вторым кровельным слоем будет равна:

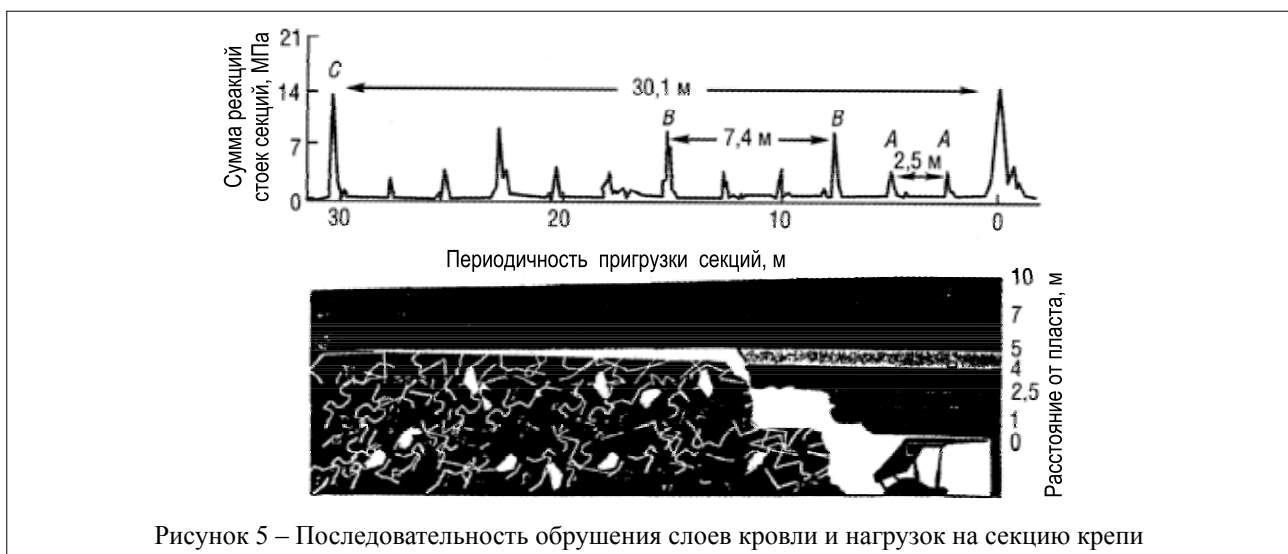


Рисунок 5 – Последовательность обрушения слоев кровли и нагрузок на секцию крепи

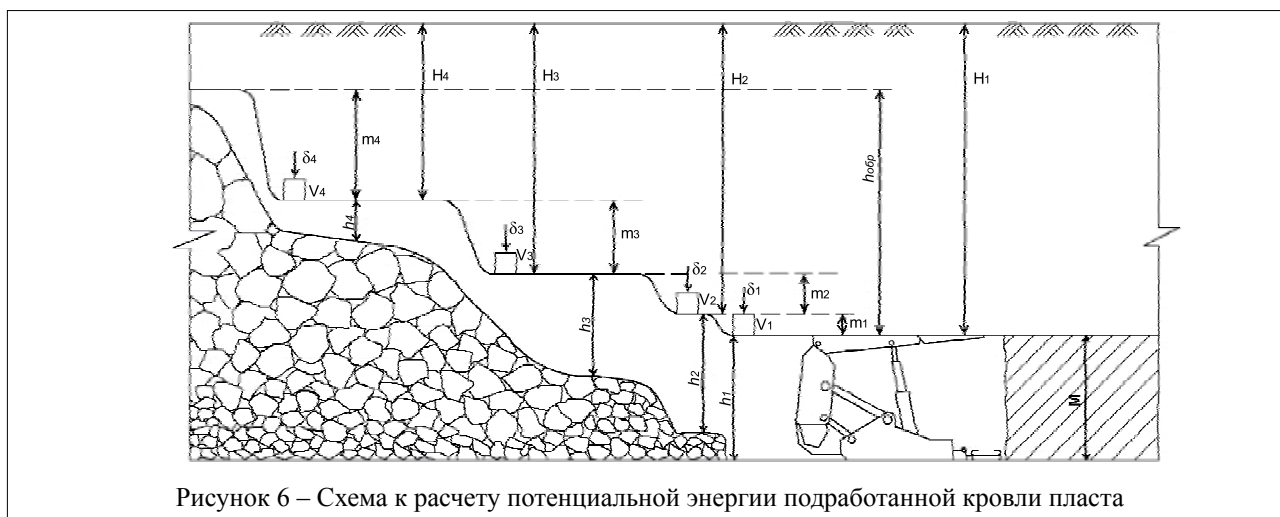


Рисунок 6 – Схема к расчету потенциальной энергии подработанной кровли пласта

$$H_2 = M - m_1 K_{p1}; \quad (5)$$

Для третьего слоя высота свободного пространства определится из выражения:

$$H_3 = M - (m_1 K_{p1} + m_2 K_{p2}), \quad (6)$$

где m_1, m_2 – мощности породных слоев 1 и 2;

K_{p1}, K_{p2} – коэффициент разрыхления породных слоев 1 и 2;

M – мощность пласта.

Потенциальная энергия единичного объема V_i каждого последующего от кровли слоя породы будет меньше предыдущего вследствие уменьшения высоты свободного пространства под $i + 1$ слоем, происходящего из-за разрыхления обрушенных пород. С другой стороны, на величину потенциальной энергии влияет масса, определяемая мощностью обрушающегося слоя и плотностью слагающих его пород.

Потенциальная энергия пород кровли перед их обрушением может быть рассчитана по выражению:

$$E_{max} = gL \sum_{i=1}^N l_i \cdot m_i \cdot \gamma_i \cdot h_i; \quad (7)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

L – длина лавы, м;

l_i – длина балки зависания i -го породного слоя, м;

m_i – мощность пород i -го слоя, м;

γ_i – плотность пород i -го слоя, t/m^3 ;

h_i – расстояние между поверхностями неразрушенного и разрушенного массивов для i -го слоя породы, м.

Рассчитанная величина будет максимальной потенциальной энергией в момент зависания кровли по всей длине лавы, которая накапливается при первой посадке труднообрушаемой кровли. В других условиях выполняется условие $E < E_{max}$, так как потенциальная энергия трансформируется в кинетическую отдельными порциями.

Для оценки величины возможной потенциальной энергии кровли уступной формы выпол-

Таблица – Расчет потенциальной энергии пород кровли в лаве для пластов различной мощности

Вынимаемая мощность пласта M , м	Потенциальная энергия породных слоев кровли перед обрушением Есл, кДж				Полная потенциальная энергия кровли E , кДж
	$m_i = 0,5$ м $l_i = 2,5$ м	$m_i = 1,5$ м $l_i = 7,4$ м	$m_i = 3$ м $l_i = 30$ м	$m_i = 5$ м $l_i = 50$ м	
2	5 880	2 610	–	–	8 490
3	8 820	61 352	84 672	–	154 844
4	11 760	87 459	296 352	58 800	454 371
5	14 700	113 566	508 032	72 200	708 498

Примечание: m_i – мощность обрушающихся пород кровли; l_i – длина балки зависания обрушающегося слоя кровли.

ним расчет по выражению (7) при следующих условиях: количество слоев кровли – 4; коэффициент разрыхления обрушающихся пород – 1,3; длина лавы – 100 м. Мощность и длина балок завесания обрушающихся слоев кровли приведены в таблице.

Для третьего и четвертого слоев кровли отсутствие или незначительная величина *Есл* обусловлены «подбутовкой» породами ранее обрушившихся нижерасположенных слоев.

Как видно из рисунка 7, изменение потенциальной энергии пород зависит от мощности пласта при различной длине лавы. Кумулятивная кривая потенциальной энергии по мере обрушения слоев кровли над пластом мощностью равной 5 м приведена на рисунке 8.

Полученная зависимость показывает, что, несмотря на большую массу верхних слоев кровли, их потенциальная энергия меньше, чем у нижерасположенных слоев, вследствие уменьшения расстояния между поверхностями неразрушенного и обрушившегося массивов. Расчетами установлено, что отработка с обрушением кровли выемочного столба протяженностью 2 км лавой длиной 100 м сопровождается формированием в недрах потенциальной энергии обрушения порядка 1 400 ГДж, а лавой длиной 200 м – около 2 800 ГДж. Такой потенциал эквивалентен тепловой энергии, содержащейся в 52 и 104 т угля, соответственно.

По оценкам авторов [5], объем нарушенного горными работами подземного пространства уже превышает в Кузбассе 150 млрд м³ (почти по 60 тыс. м³ на каждого жителя) и продолжает неуклонно увеличиваться. Аккумулированная в породах кровли подземных выработок потенциальная энергия при их обрушении трансформируется в эквивалентное количество кинетической энергии, которая в настоящее время никак не используется. В то же время только на одной

шахте для передвижения очистных комбайнов, секций крепи, вращения двигателей конвейеров, лебедок и других машин и механизмов с земной поверхности по высоковольтным магистралям ежегодно подается 30–40 млн кВт*ч и более электрической энергии.

В 1936 г. будущий чл.-корр. АН СССР Н. А. Чинакал понял, как использовать энергию обрушающихся пород для передвижения специального сооружения (щита) под землей [6]. Эта идея легла в основу его знаменитой щитовой системы разработки крутопадающих пластов угля, которая уже 76 лет используется в шахтах Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса. Система применялась и в шахтах других стран: Болгарии, Венгрии, Китая [6]. По сведениям сотрудников ИГД СО РАН им. Н. А. Чинакала, благодаря гениальности и смелости идеи автора, изобретение, включено в 50 самых выдающихся разработок за всю историю горного дела. Но, как пишут специалисты, «...изобретение Чинакала – первая в мире и по существу пока единственная система разработки, использующая силу горного давления при выемке угля, когда щит движется вперед (вниз по падению) исключительно за счет горного давления» [7].

Если для крутопадающих угольных пластов энергосберегающая технология применяется, то поиск новых технических решений для использования энергии обрушения горных пород при разработке горизонтальных и пологих пластов угля на сегодняшний день является актуальной задачей. Исследование процесса обрушения пород показывает, что в большинстве случаев (за исключением легкообрушаемой кровли) в определенный момент времени за секциями образуется незаполненное выработанное пространство, тем большее, чем устойчивее породы. Установленная особенность механизма завесания и дискретного обрушения в лаве при отработке

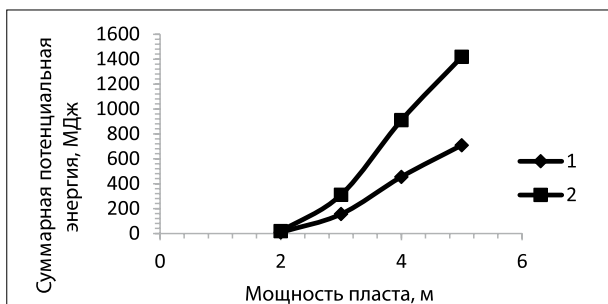


Рисунок 7 – Зависимости изменения потенциальной энергии пород от мощности пласта: 1 – при лине лавы 100 м; 2 – при длине лавы 200 м

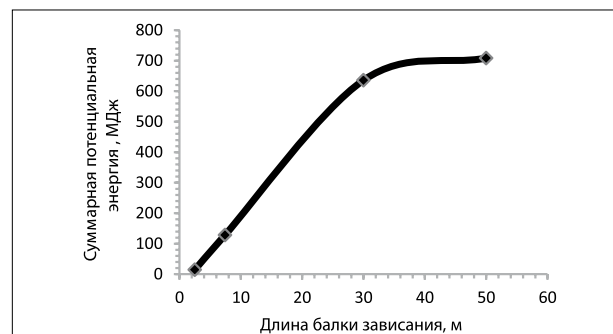


Рисунок 8 – Изменение суммарной потенциальной энергии по длине обнажения кровли

горизонтальных и наклонных угольных пластов пород кровли открывает возможность превращения кинетической энергии перемещения горных пород в земной коре в полезную для человека энергию. Способ превращения энергии из одного вида в другой заключается в периодическом воздействии силы тяжести обрушающихся с кровли пласта кусков породы на специальное устройство, способное преобразовывать гравитационную энергию в электрическую.

Устройство для реализации способа представляет собой секцию механизированной крепи, оборудованную энергоагрегатом – энергокрепь. В работе [8] представлены последние разработки конструкции механизированных крепей, обеспечивающие увеличение скорости передвижения крепи и производительности труда, значительное повышение безопасности ведения горных работ в лаве и срока службы оборудования. Для создания энергокрепей за основу взята одна из предлагаемых перспективных конструкций секций (рис. 9).

Для производства электроэнергии к верх-

ней части ограждающего элемента секции с помощью шарнира крепят металлическую панель. Между подвижной панелью и ограждающим элементом секции устанавливают пружинный элемент, удерживающий панель в отклоненном от вертикального положении (в идеале – в горизонтальном). К свободному концу панели шарнирно крепят зубчатую рейку, контактирующую с шестерней ротора электрогенератора. Электрогенератор крепят к стенке ограждающего элемента секции и соединяют проводом с аккумулятором, размещенным на нижней поверхности поддерживающего элемента секции.

Электроэнергию в очистном механизированном забое производят следующим образом. После отбойки очистным комбайном стружки угля от пласта (0,4–0,6 м) осуществляют передвижку секции механизированной крепи. Вследствие того, что посадка кровли происходит не сразу за секцией, а образуется так называемый шаг посадки L , панель посредством пружинного элемента отклоняется от ограждающего элемента (рис. 9 А). Последующее обрушение

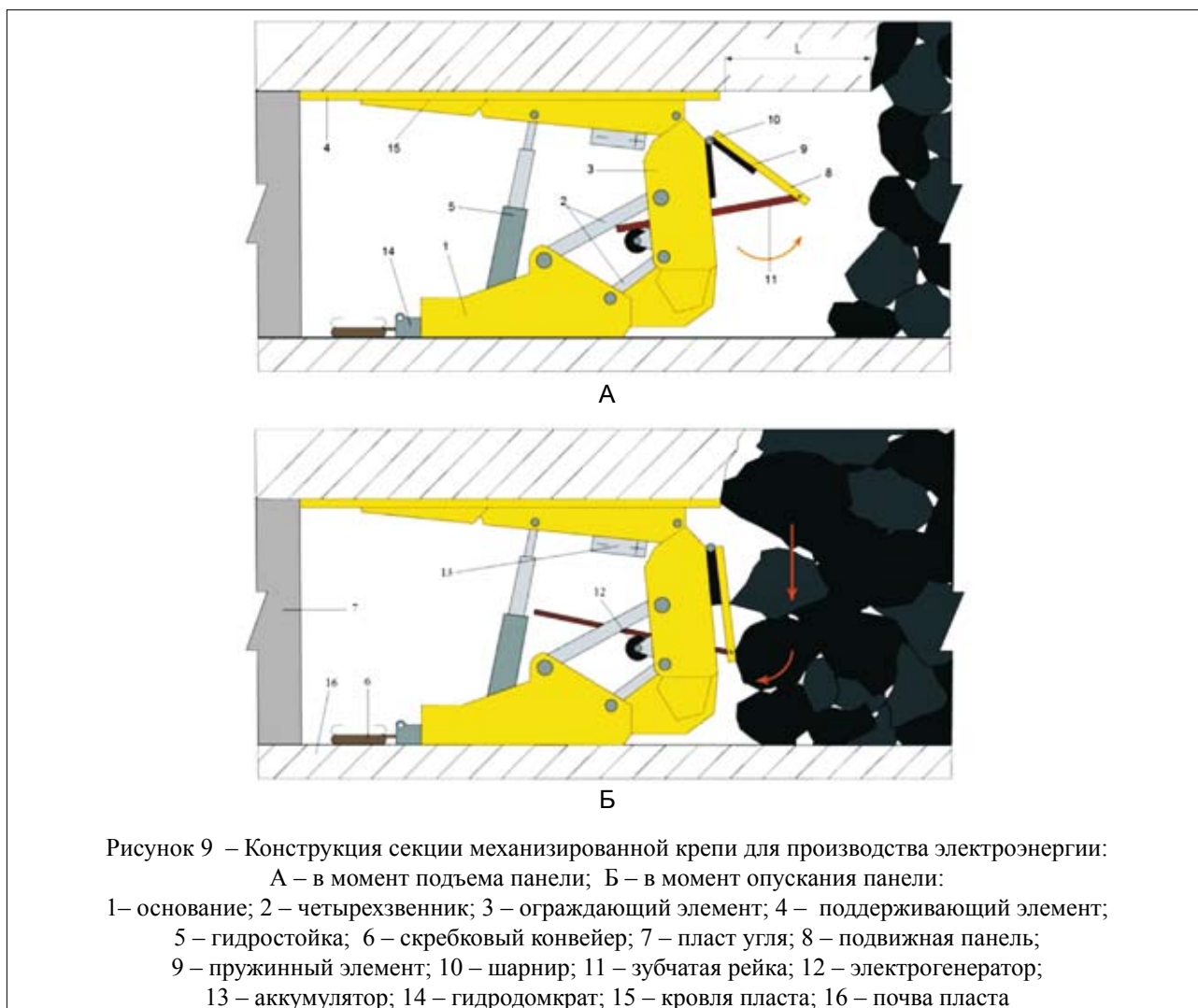


Рисунок 9 – Конструкция секции механизированной крепи для производства электроэнергии:

А – в момент подъема панели; Б – в момент опускания панели;

- 1 – основание; 2 – четырехзвенник; 3 – ограждающий элемент; 4 – поддерживающий элемент;
 5 – гидростойка; 6 – скребковый конвейер; 7 – пласт угля; 8 – подвижная панель;
 9 – пружинный элемент; 10 – шарнир; 11 – зубчатая рейка; 12 – электрогенератор;
 13 – аккумулятор; 14 – гидродомкрат; 15 – кровля пласта; 16 – почва пласта

кровли приводит к воздействию кусков породы на панель, которая опускаясь, передает вращательный момент через зубчатую рейку на ротор электрогенератора (рис. 9 Б). Производимая им электроэнергия поступает в аккумулятор для последующего использования (привода двигателей, освещения мехкомплекса, передвижения секций и др.). После следующей передвижки секции на месте ее прежнего расположения образуется временно свободное пространство, и подвижная панель возвращается в отклоненное от вертикали положение. В дальнейшем цикл энергопроизводства на этой секции повторяется.

В связи с тем, что секции механизированной крепи передвигаются вслед за продвижением очистного комбайна, а их количество в современном комплексе составляет 150–250 штук и более, подвижные панели на секциях крепи будут поочередно отклоняться пружинами и прижиматься падающей породой, то есть в процессе эксплуатации комплекса секции бу-

дут последовательно непрерывно генерировать электроэнергию. Наряду с посекционной генерацией будет наблюдаться и групповая, так как в некоторые моменты при обрушении протяженных вдоль лавы массивов породы электроэнергию будут вырабатывать сразу несколько секций одновременно.

Предлагаемые способ и устройство для превращения механической энергии перемещения горных пород в электрическую энергию позволяют сократить потребность шахты в закупках (всё) дорожающей продукции электростанций. Укомплектование очистных забоев разработанными секциями обеспечивает повышение уровня наукоемкости и ресурсосбережения технологии отработки горизонтальных и наклонных угольных пластов. Появляется возможность использования, наряду с энергией извлекаемого угля и части, огромного энергетического потенциала процесса техногенного преобразования литосферного пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубецкой, К. Н. Основы горного дела: учебник / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко; под ред. акад. К. Н. Трубецкого. – М.: Академический Проект, 2010. – 231 с.
2. Коршунов, Г. И. Геомеханика на угольных шахтах / Г. И. Коршунов, А. К. Логинов, В. М. Шик, В. Б. Артемьев. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 388 с.
3. Павлова, Л. Д. Моделирование циклического характера обрушения горных пород при проведении выработки с последовательным накоплением повреждений / Л. Д. Павлова, В. Н. Фрянов // Известия ТПУ. – 2004. - Т.307. – № 2. – С. 76–79.
4. Южанин, И. А. К вопросу определения высоты зоны обрушения пород / И. А. Южанин, А. М. Терлецкий // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2008. – № 3. – С. 122–127.
5. Мамлин, А.Н., Сушков В.Ю. Шаклеин С.В. Угольный потенциал Кемеровской области: состояние, перспективы, проблемы/ А.Н.Мамлин, В.Ю.Сушков, С.В. Шаклеин // Горный журнал. – 2006. – № 11. – С. 27–32.
6. А. с. 51298 СССР. Кл. 5с.10. Металлический перемещающийся щит для разработки мощных крутопадающих каменноугольных пластов / Н. А. Чинакал. – № 193836; заявл. 13.05.36; опубл. 30.06.37, Бюл. № 5.
7. Зворыгин, Л. В. Николай Андреевич Чинакал. Горное дело – жизнь и судьба / Л. В. Зворыгин, М. В. Курленя. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 184 с.
8. Буялич, Г. Д. Инновационный подход к вопросам монтажа и эксплуатации секции механизированной крепи / Г. Д. Буялич, В. М. Тарасов, Н. И. Тарасова // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1.1. – С. 115–126.

**THE USE OF AN ENERGY POTENTIAL
CONVERSION OF LITHOSPHERIC SPACE AT
MINING**

**S. A. Prokopenko, V. S. Ludzish,
V. V. Sobolev**

The schemes of a roof collapse in fully-mechanized longwalls are reviewed and scales of potential energy of the deformable rock strata are shown. The features roof collapse mechanisms in stope ore are revealed. For converting kinetic energy of rock slides into electric energy was developed a support unit with the mobile panel, which receiving rock mass pressure and transferring it to a rotor of the electric generator. The received electric power is used for needs of the clearing mechanized complex, reducing volumes of its delivery from the earth's surface.

**Key words: MINE ROCK, CAVING,
SUPPORT, SECTION, PANEL, ENERGY,
ELECTRICAL GENERATOR, LONGWALL SET
OF EQUIPMENT**

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

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

*Соболев Виктор Васильевич
e-mail: Sobolev567@gmail.com*

IV. ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ PROBLEMS AND OPINIONS

Л. В. Бондарева

ассистент, ФГБОУ ВПО «КемГУ»

Ю. Н. Захаров

д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой ФГБОУ ВПО «КемГУ»

УДК 519.6:628.39

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ЗАТОПЛЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Рассматривается построение математической модели течения и распространения нерастворенных примесей с изменением формы дна в виде замкнутой системы уравнений в частных производных. Приводятся методы решения полученных дифференциальных задач, а также картины течения и распространения примеси в зависимости от входных параметров задачи.

Ключевые слова: ПЕРЕНОС ПРИМЕСИ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРИМЕСИ, ЗАИЛИВАНИЕ

Введение

Кузбасс является одним из наиболее промышленно развитых регионов России. Для края актуальной является проблема утилизации отходов различных промышленных предприятий, в частности углеперерабатывающих и углеобогащающих. Отходы угольной промышленности сложны по своей структуре и особо вредны для окружающей среды и человека. Обычно применяемые на практике технологии очистки промышленных вод зачастую затратны [1]. Поэтому на базе ш. Кольчугинской был запущен проект очистки сточных вод аглофабрики Комсомолец [2]. Применение такой технологии позволяет значительно сократить затраты на очистку промышленных вод. Предложенная методика заключается в следующем: жидкие промышленные отходы закачиваются в отработанную затопленную горную выработку, где отстаиваются и разбавляются постоянно фильтрующимися через верхнюю кровлю грунтовыми водами, вследствие чего откачиваемая жидкость становится существенно более чистой, минимизируя воздействие углеперерабатывающего предприятия на окружающую среду.

Попадаемые в выработку промышленные стоки содержат разные по составу и свойствам примеси. В работах [2]–[6] рассматривалась проблема течения и распространения только рас-

творенных примесей. Однако в выработку попадают также нерастворенные примеси, большая часть которых оседает на дно. С течением времени концентрация осадка может возрасти настолько, что он перестанет смываться течением и форма дна изменится. В дальнейшем будем называть этот процесс «затвердеванием» примеси или «заиливанием» шахты.

Изучение процессов, протекающих в отработанных горных выработках, связано с большими практическими сложностями. Обводненная выработка представляет собой «черный ящик», так как реальные измерения каких-либо параметров возможны только на входе и выходе. В связи с этим возникает необходимость применения математического моделирования и численных экспериментов.

Целью данной работы является построение и изучение математической модели течения и распространения нерастворенных примесей в области, моделирующей отработанную горную выработку, с учетом возможности изменения формы дна вследствие накопления осадка.

1. Математическая модель

Предполагается, что в отработанную горную выработку подаются промышленные стоки, содержащие нерастворенные примеси в известной концентрации. Через верхнюю кровлю

в выработку фильтруются грунтовые воды, не содержащие нерастворенных примесей. Будем считать, что частицы примеси не влияют на течение, но оседают под действием силы тяжести и распространяются по выработке за счет диффузии и переноса вместе с потоком воды. Осевшие примеси могут накапливаться и «затвердевать», если на протяжении некоторого времени не сносятся потоками воды.

Скорость движения жидкости в затопленной горной выработке мала и боковые стенки не оказывают существенного влияния на осаждение, поэтому будем рассматривать только двумерную модель, которая в полной мере отображает тенденции развития процесса накопления твердого осадка.

Рассмотрим область решения, характерной для затопленной горной выработки формы [3] с границей $\partial G = \bigcup_i \Gamma_i, i = 1, \dots, 4$, где Γ_1, Γ_4 –

входное и выходное отверстия; соответственно, высоты H_2, Γ_2, Γ_3 – нижняя и верхняя границы; соответственно, $2L_1 + 2L_2 + L_3$ – длины (рис. 1).

Считаем, что жидкость является однородной, вязкой и несжимаемой. Течение такой жидкости описывается безразмерной системой уравнений Навье – Стокса в переменных «функция тока – вихрь» [7]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = -u \frac{\partial \omega}{\partial x} - v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$u|_{t=0} = 0 \quad v|_{t=0} = 0; \quad \vec{U} = (u(t, x, y), v(t, x, y));$$

$$\Gamma_1: u = u_0(t, x, y), v = 0; \Gamma_2: u = 0, v = 0;$$

$$\Gamma_3: u = 0, v = u_0(t, x, y); \Gamma_4: u = u_1(t, x, y), v = 0; \quad (3)$$

В выражениях (1)–(3) используются сле

дующие обозначения: \vec{U} – вектор скорости, заданный своими компонентами $u, v; u_0(t, x, y), u_1(t, x, y), u_0(t, x, y)$ – известные функции, определенные на границе области решения ∂G ;

$$Re = \frac{\tilde{u} L_0}{\nu} \text{ – число Рейнольдса; } \tilde{u} \text{ – характерная}$$

скорость, вычисляется как максимальная скорость входного потока; L_0 – характерная длина.

Компоненты вектора скорости u, v связаны с вихрем ω и ψ функцией тока соотношениями:

$$\omega = \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x}, \quad u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = - \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Учитывая (3), зададим ω, ψ на ∂G следующим образом [8]:

$$\omega|_{t=0} = 0, \quad \omega|_{\partial G} = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{\partial G}, \quad (4)$$

$$\psi|_{t=0} = 0, \quad \Gamma_1: \psi = u_0(y - y_1); \Gamma_2: \psi = 0;$$

$$\Gamma_3: \psi = -u_0 x + u_0 H_2; \Gamma_4: \psi = u_1(y - y_1); \quad (5)$$

Граничные условия для функции тока выбираются таким образом, чтобы выполнялось

$$\text{условие } \int_{\partial G} \frac{\partial \psi}{\partial n} = 0 \text{ [8].}$$

Для моделирования переноса и диффузии примесей используется уравнение переноса примеси [9], учитывающее воздействие силы тяжести и диффузии:

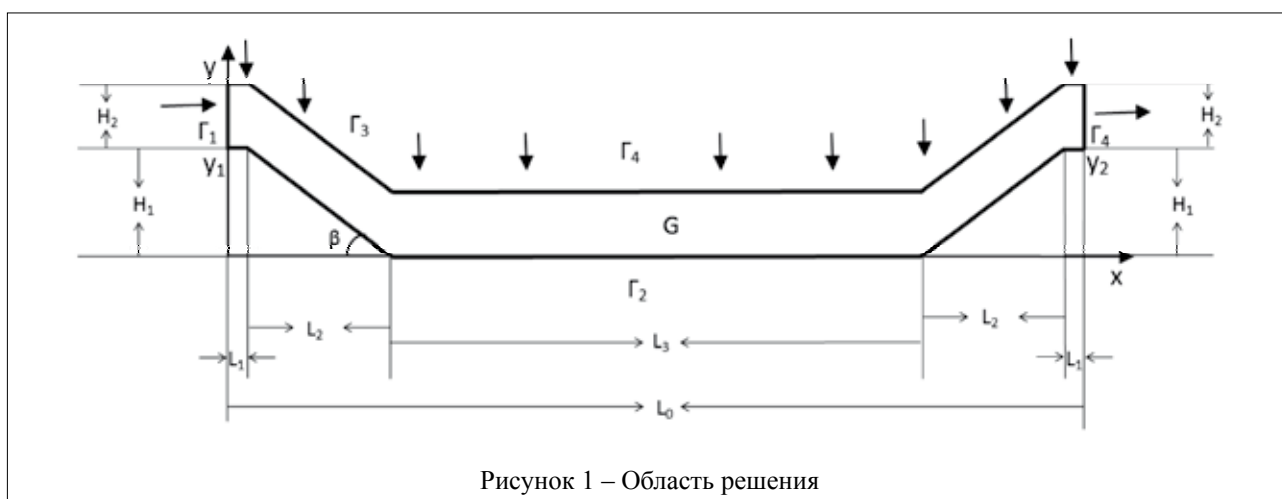


Рисунок 1 – Область решения

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (u - u_s) \frac{\partial C}{\partial y} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right), \quad (6)$$

с соответствующими начальными и граничными условиями

$$C(x, y, 0) = C_0(x, y);$$

$$\Gamma_1 : C = C_1(x, e, t);$$

$$\Gamma_2 : D \frac{\partial C}{\partial y} + u_s C = C_D - C_{u_s}; \quad (7)$$

$$\Gamma_3 : C = C_2(x, y, t); \Gamma_4 : \frac{\partial C}{\partial y} = 0,$$

где $C_0(t, x, y)$, $C_1(t, x, y)$, $C_2(t, x, y)$, $\varphi(t, x, y)$ – заданные функции, определенные на границе ∂G ; $C = C(x, y, t)$ – концентрация примеси; u_s – скорость оседания примеси, характеризует массу оседающих частиц; D – коэффициент диффузии. На нижней границе области решения Γ_2 определяется поток примеси, равный разности расходов отрывающихся от дна частиц примеси C_D (отвечает за размыв осадка) и оседающих частиц C_{u_s} (определяет аккумуляцию примеси на дне).

Осевшая на дно примесь может со временем изменять его форму. Данный процесс будем моделировать так: если на протяжении времени T^* в области решения вблизи границы концентрация осевшей примеси превышает пороговое значение C^* , то будем считать, что данная примесь перестает сноситься течением и граница области решения переносится в соответствии с концентрацией C^* и временем T^* .

2. Методы решения и результаты расчетов

Поставленные дифференциальные задачи решаются методом сеток. Задачи (1), (2), (4), (5) и (6), (7) аппроксимируются обычным образом на разностной, согласованной с границей сетке с шагом h_x, h_y по пространственным переменным и шагом τ по времени.

Уравнения переноса вихря и переноса примеси решаются неявной схемой стабилизирующих поправок [10].

Разностное уравнение Пуассона для функции тока решается методом минимальных невязок неполной аппроксимации с параметром – матрицей с использованием покомпонентной и глобальной оптимизации итерационных параметров [11].

Результаты решения поставленных задач, характеризующих процесс течения и рас-

пространения примеси с возможностью изменения формы дна вследствие «затвердевания» осадка, определяются в два этапа. Сначала решаются задачи (1)–(3), и тем самым находятся компоненты вектора скорости, на втором этапе решение задач (6), (7) позволяет получить картину распространения примеси в канале.

Далее представлены результаты при следующих значениях характеристик сетки и течения:

$$H_2 = 0,5, H_1 = L_2 = 0,6, L_3 = 2, L_1 = 0,1,$$

$$h_x - h_y = 0,01, \tau = 0,01, Re = 400, u_0(t, x, y) = 0,5,$$

$$C_0(t, x, y) = 0,2, u|_{t=0} = 0, u|_{t=0} = 0.$$

В области решения течение развивается при малых скоростях, поэтому линии тока жидкости направлены вдоль канала, а вихревые структуры не образуются (рис. 2). По причине «затвердевания» осадка может измениться форма области решения, поэтому при каждом изменении границы Γ_2 течение жидкости пересчитывается (рис. 3).

На рисунке 4 представлена динамика распространения и оседания примеси. В момент безразмерного времени ($t = 0,05$) в канал начинают поступать примеси с промышленными водами через вход слева, а через верхнюю кровлю поступает чистая вода. Примесь распространяется по каналу ($t = 1$) вдоль линий тока неравномерно, а за счет диффузии – не только горизонтально, но и вертикально. Под действием силы тяжести на всем протяжении канала вдоль нижней границы выпадает осадок. Однако

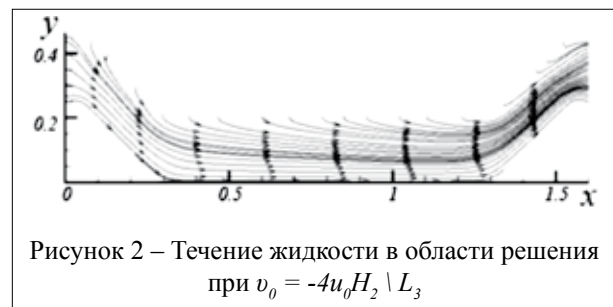


Рисунок 2 – Течение жидкости в области решения при $v_0 = -4u_0 H_2 \setminus L_3$



Рисунок 3 – Течение жидкости в измененной области решения при $v_0 = -4u_0 H_2 \setminus L_3$

большая концентрация примеси сосредотачивается преимущественно вдоль наклонных границ ($t = 10$). Поток жидкости, подаваемый через верхнюю кровлю, дополнительно способствует вертикальному осаждению примеси. Уже на момент безразмерного времени ($t = 5$) наблюдается частичное затвердевание осадка вдоль нижней правой наклонной границы, к моменту ($t = 20$) канал значительно сужается. Данный набор параметров моделирует примесь, на которую незначительно действует диффузия. Основное распространение происходит в потоке воды. Параметр T^* характеризует примеси, затвердевающие по мере продвижения по каналу только у правой наклонной границы.

Как показано на рисунке 5, более «тяжелые» примеси ($u_s > 0,1$) более интенсивно задерживаются в области решения. Осадок накапливается и вдоль левой наклонной границы, количество примеси, достигающей выходного отверстия, уменьшается (рис. 5, 6).

Если в канал попадают очень легкие примеси, для которых коэффициент диффузии достаточно велик ($D = 1,0$), то влияние конвекции на них снижается (рис. 6). Наблюдается большая растянутость полей примеси одной концентрации. Поток чистой воды не дает примеси выйдти из области решения и накопление осадка происходит по каналу равномерно.

Наиболее опасным вариантом развития

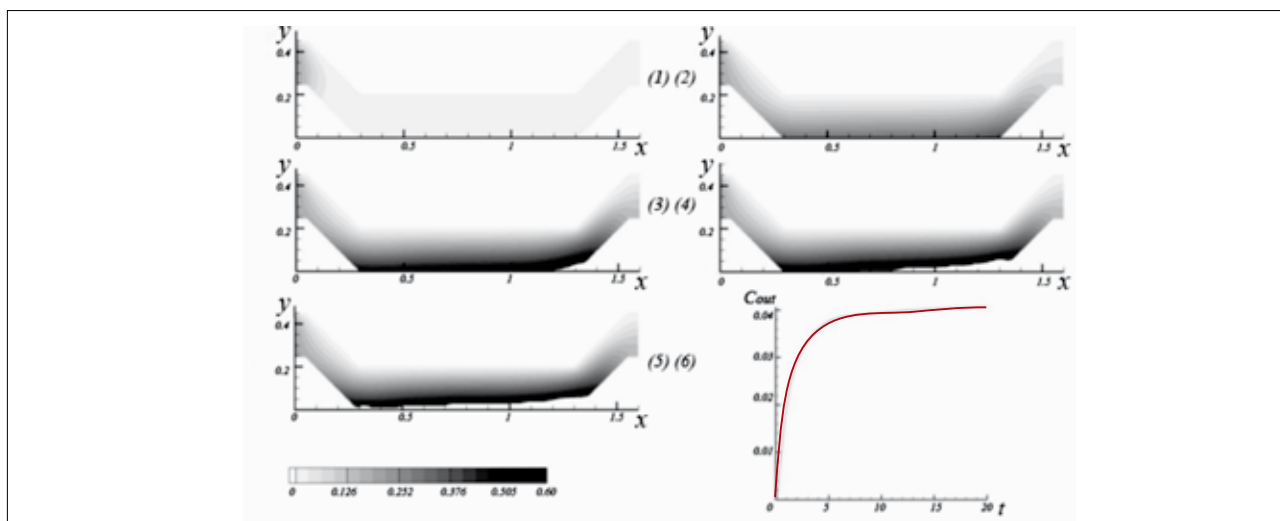


Рисунок 4 – Течение и распространение примеси при значениях параметров $D = 0,1; v_s = 0,1; C_D - C_v = -0,8; C^* = 0,6; T^* = 1$ на моменты времени:

$1 - t = 0,05; 2 - t = 1; 3 - t = 5; 4 - t = 10; 5 - t = 20;$

6 – график изменения количества примеси на выходе из области решения

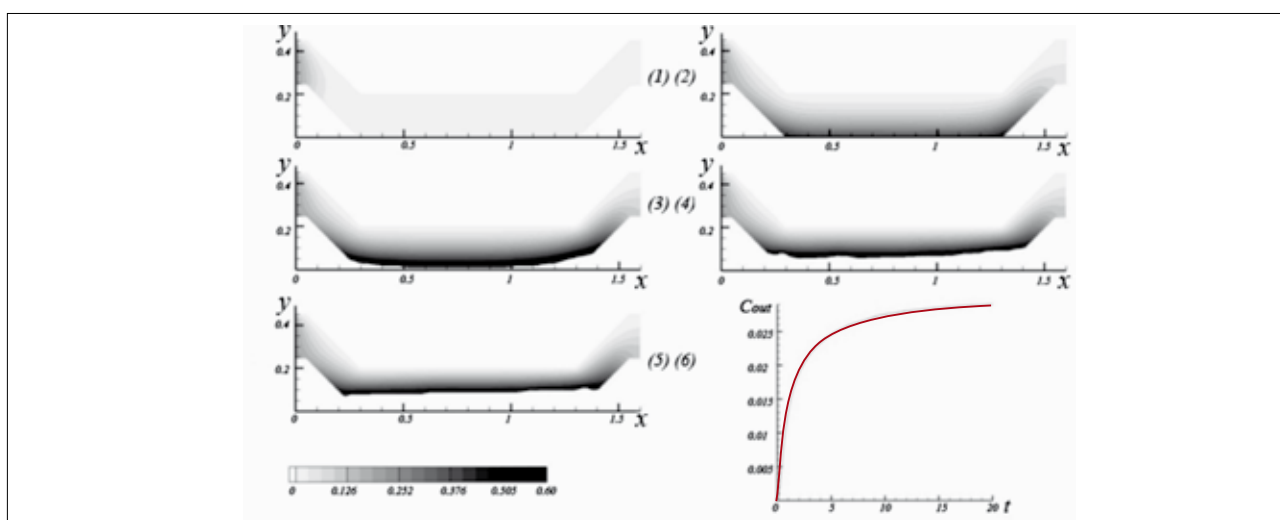


Рисунок 5 – Течение и распространение примеси при значениях параметров $D = 0,1; v_s = 1,0; C_D - C_v = -1,0; C^* = 0,6; T^* = 1$ на моменты времени:

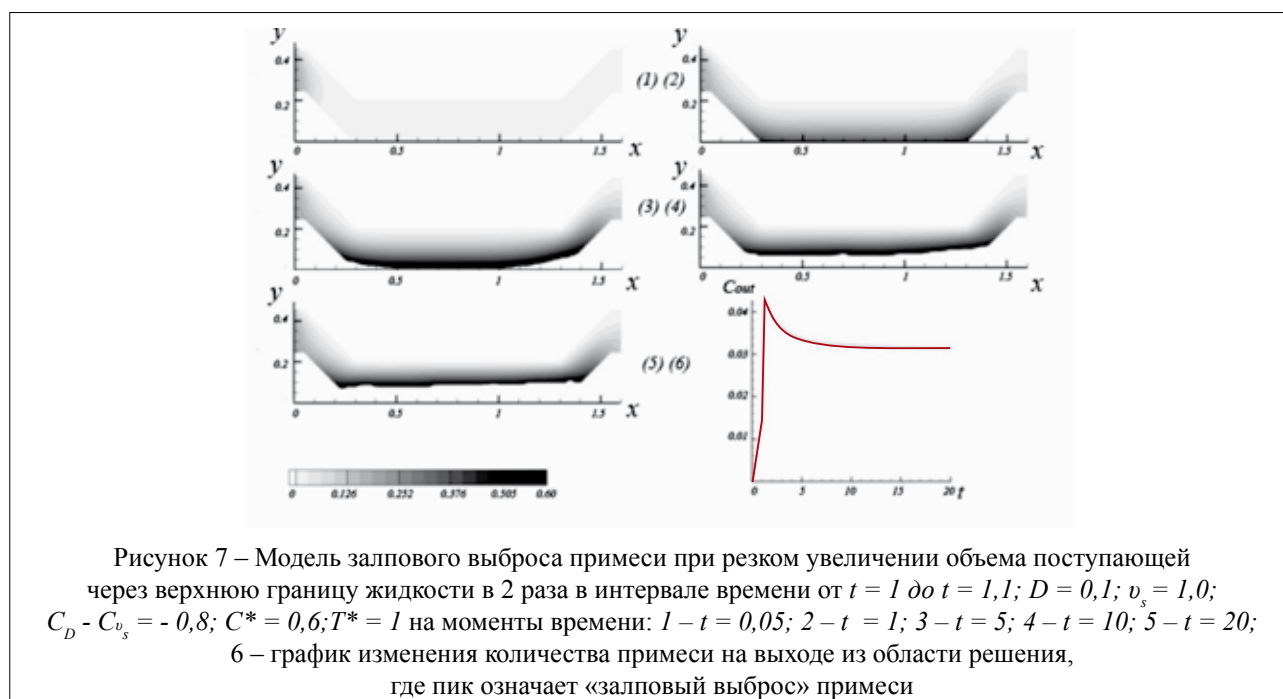
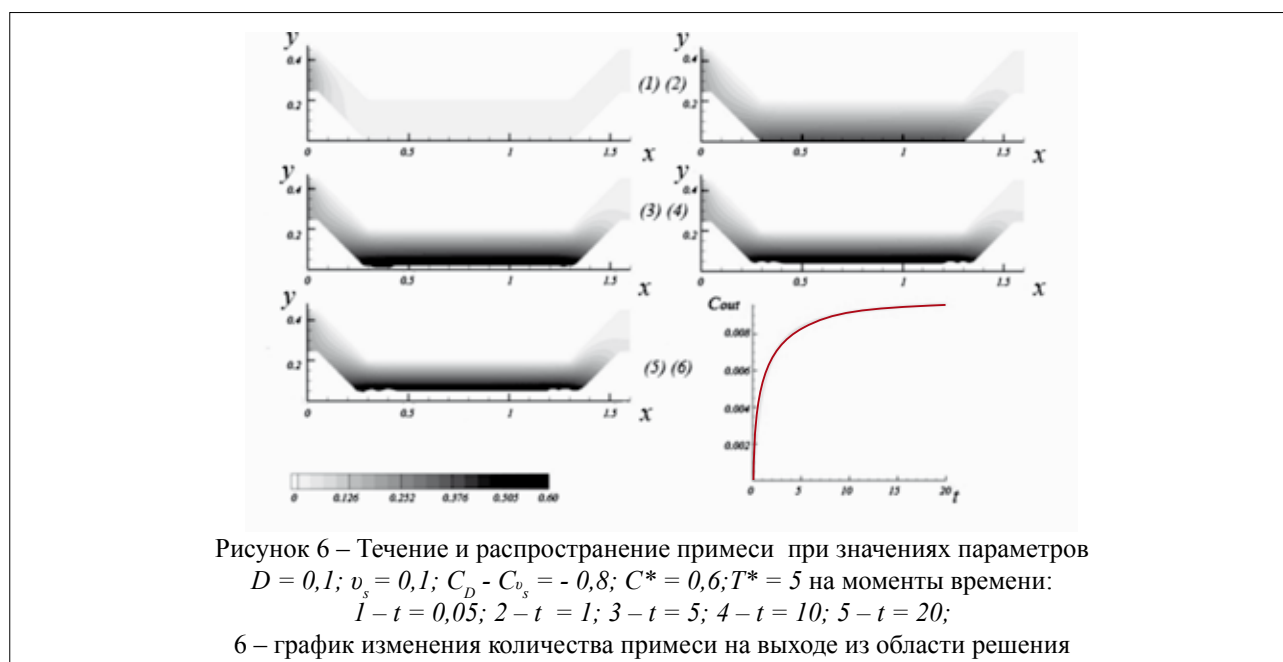
$1 - t = 0,05; 2 - t = 1; 3 - t = 5; 4 - t = 10; 5 - t = 20;$

6 – график изменения количества примеси на выходе из области решения

процесса осаждения является возможность так называемого залпового выброса (т. е. резкого увеличения концентрации и количества) примеси, выходящей из области решения, который может наблюдаться в случае даже кратковременного увеличения объема фильтруемых грунтовых вод (рис. 7). Как видно из рисунка 7, в интервале времени от $t = 1$ до $t = 1,1$ вместе с увеличением объема поступающей в канал через верхнюю границу жидкости в два раза происходит резкое увеличение количества примеси на выходе из области решения. До момента времени $t = 1$ происходит равномерное увеличение рассматриваемой величины, а после $t = 1,1$ показатели

уменьшаются до нормального значения, полученного для аналогичной задачи с постоянным объемом подаваемой жидкости.

В заключение можно сделать следующие выводы. Предложенная модель распространения и возможного «затвердевания» примеси позволяет не только исследовать процесс течения и распространения нерастворенных примесей, но и прогнозировать вероятность перекрытия канала тока жидкости и возможность «залпового выброса». Эмпирический подбор входных параметров задачи дает возможность моделировать примеси, обладающие разными свойствами.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесин, Ю. В. Охрана и рациональное использование водных ресурсов при разработке угольных месторождений Кузбасса / Ю. В. Лесин, Л. С. Скрынник. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008.
2. Захаров, Ю. Н. Итерационный метод определения течения стратифицированной жидкости в проточном водоеме / Ю. Н. Захаров, А. В. Чирюкина // *Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики* : мат. V Всерос. науч. конф., 3–5 окт., 2006. – Томск, 2006. – С. 511–512.
3. Захаров, Ю. Н. Течение жидкости в подземных полостях с учетом фильтрации через стенки / Ю. Н. Захаров, А. В. Чирюкина // *Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии* : сборник научных трудов VI Всерос. науч.-практич. конф., 19-21 марта, 2007. – Кемерово, 2007. – С. 305–309.
4. Захаров, Ю. Н. Течение идеальной жидкости в закрытых водоемах / Ю. Н. Захаров, Е. Л. Счастливец, А. В. Чирюкина // *Вычислительные технологии*. – 2008. – Т. 13, спец. вып. 2. – С. 21–27.
5. Захаров, Ю. Н. Моделирование распространения загрязняющих веществ в затопленных горных выработках / Ю. Н. Захаров, В. П. Потапов, Е. Л. Счастливец, А. В. Чирюкина // *Вестник НГУ*. – 2009. – Т. 7, вып. 4. – С. 66–72. – (Серия «Информационные технологии»).
6. Захаров, Ю. Н. Моделирование распространения примесей в затопленных горных выработках: монография / Ю. Н. Захаров, В. П. Потапов, Е. Л. Счастливец, А. В. Чирюкина. – Кемерово, 2013. – 96 с.
7. Лойцянский, Л. В. Механика жидкости и газа / Л. В. Лойцянский. – М.: Наука, 1987.
8. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980.
9. Белолипецкий, В. М. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды / В. М. Белолипецкий, В. Ю. Костюк, Ю. И. Шокин. – Новосибирск: Инфолио-пресс, 1997.
10. Яненко, Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики / Н. Н. Яненко. – Новосибирск: Наука, 1967.
11. Захаров, Ю. Н. Градиентные итерационные методы решения задач гидродинамики / Ю. Н. Захаров. – Новосибирск: Наука, 2004. – 239 с.

MODELING PROCESS INDUSTRIAL WASTEWATER USING FLOODED MINE WORKINGS

L. V. Bondareva, Y. N. Zakharov

The mathematical model construction of a flow and distribution of not dissolved impurity with form change of a bottom in the form of the system of partial closed equation is considered. Methods of the solution of the received differential tasks, and also pictures of a current and impurity distribution depending on entry parameters of a task are given.

Key words: IMPURITY TRANSPORT, IMPURITY DISTRIBUTION, SLUDGE SETTLING

*Бондарева Любовь Васильевна
e-mail: l.v.kemerova@mail.ru*

*Захаров Юрий Николаевич
e-mail: zaharovyn@rambler.ru*

А. А. Быков

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института вычислительных технологий СО РАН
(Кемеровского филиала)

Е. Л. Счастливец

д-р техн. наук, заведующий лабораторией Института вычислительных технологий СО РАН
(Кемеровского филиала)

С. Г. Пушкин

канд. хим. наук, старший научный сотрудник Института вычислительных технологий СО РАН
(Кемеровского филиала)

УДК 551.551.61

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рассматривается совокупность моделей для оценки воздействия атмосферных выбросов угледобывающих предприятий на загрязнение воздуха и наземных экосистем. Приводятся примеры их использования для решения практических задач. Рассматривается вопрос обеспечения моделей специальными метеорологическими параметрами.

Ключевые слова: АТМОСФЕРНЫЕ ВЫБРОСЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ, ВЫПАДЕНИЕ, ПЫЛЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Согласно санитарной классификации предприятия по добыче угля открытым способом (разрезы) относятся к 1-му классу опасности, для которых проводится расчетная оценка рисков для здоровья населения [1]. При расчете острых рисков [2] необходимо вычисление максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) с использованием модели ОНД-86 [3], разработанной в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО»). Хронические и канцерогенные риски при вдыхании вычисляются исходя из среднегодовых концентраций ЗВ, для расчета которых в ФГБУ «ГГО» разработана нормативная модель [4] долговременного осреднения. Описанные модели рассматривают только распространение концентраций ЗВ в атмосфере, а не выпадения их на поверхность (почву, воду, растительность). Сложившаяся в настоящее время практика расчета рисков для здоровья населения ограничивается воздействием на человека только атмосферного загрязнения. Однако [2] предполагает учет всех путей поступления ЗВ в организм человека.

Таким образом, изучение процессов вторичного поступления ЗВ из атмосферы в почву, воду и продукты питания требует разработки соответствующих расчетных моделей и систем обеспечения исходными данными.

В дополнение к моделям [3] и [4] разработана и доведена до практического использования локальная долгосрочная модель расчета выпадения пылевых частиц на подстилающую поверхность [5]. Все модели реализованы в составе широко используемого в Сибирском регионе для нормативных расчетов программного комплекса «ЭРА» (www.logos-plus.ru), что позволяет использовать накопленные в форматах данного комплекса исходные данные об источниках для дополнительных научных исследований.

Построение модели осаждения, основные соотношения и первые результаты сравнения с данными экспериментов представлены в работе [5]. Авторами проведен обзор литературных источников по дисперсному составу пылевых выбросов, сопровождающих основные процессы угледобычи [6], начаты работы по исследованию влияния составляющих модели на результаты вычислений [7]. В результате обработки

рядов стандартных наблюдений с метеостанций Кузбасса (взяты с сайта www.rp5.ru) проведена оценка [8] влияния годовой изменчивости метеопараметров на результаты расчетов выпадения пылевых частиц от типичного карьерного отвала. Показано также, что из всех входных данных наибольшее влияние (в 2–3 раза и более) на результаты моделирования оказывают погрешности в задании дисперсного состава суммарного выброса.

В настоящей работе приводятся результаты применения модели для оценки пылевого загрязнения снега в точках отбора проб весной 2012 года и интегрального выпадения пылевых частиц, соединений азота и серы в снеговой покров для бассейнов малых рек. Расчеты проведены для района расположения разреза Бунгурский-Южный, где ведется интенсивная разработка открытым способом. Рассматривается также вопрос обеспечения модели параметрами пограничного слоя атмосферы, не входя-

щими в состав стандартных метеорологических наблюдений.

Источниками фонового загрязнения изучаемого района являются близлежащие города: Новокузнецк, Прокопьевск, Осинники, Калтан. Минимальное расстояние до них составляет 12–40 км, поэтому влияние на загрязнение атмосферы района выбросов предприятий и автотранспорта этих городов достаточно ощутимо. Оценочные расчеты распространения и выпадения ЗВ, выполненные с использованием названной модели и частично агрегированных данных по источникам выбросов, показывают, что выпадение пылевых частиц от городов в снеговой покров рассматриваемого района составляет от 0,5 до 1,0 г/м².

Весной 2012 года, в районе проведения горных работ разреза ООО «Сибэнергоуголь» и вблизи некоторых населенных пунктов, Институтом почвоведения и агрохимии СО РАН проведены отборы проб снега (рис. 1).

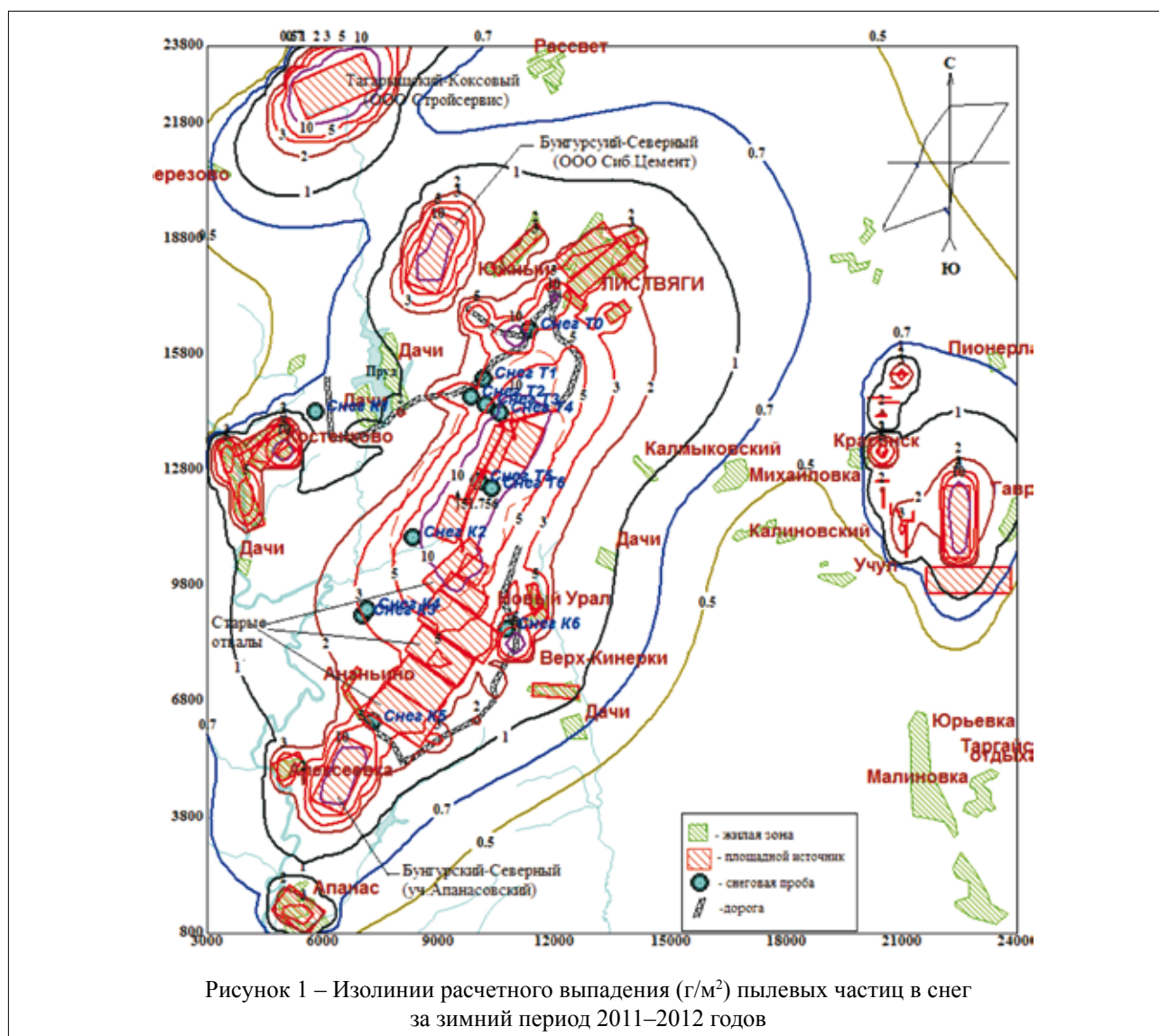


Рисунок 1 – Изолинии расчетного выпадения (г/м²) пылевых частиц в снег за зимний период 2011–2012 годов

Пробы проанализированы на содержание различных элементов и суммарное содержание пылевых частиц (твердый остаток). Концентрации твердых частиц в снеговой воде (г/литр) пересчитаны с учетом глубины и плотности снежного покрова в размерность г/м² за зиму. Сравнение расчетных оценок с данными замеров выпадения в снег представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, порядок измеренных и вычисленных величин для данного класса задач, а также тенденции изменения выпадения пыли от точки к точке частично совпадают. Это говорит о том, что модель достаточно хорошо отлажена на основе полученных ранее расчетов, для которых были проведены соответствующие экспериментальные исследования.

Заметим, что источниками загрязнения в расчете являются разрезы: Бунгурский-Южный (ОАО «Сибэнергоуголь»), Тагарышский-Коксовый (ООО «Стройсервис»), Бунгурский-Северный (ООО «Сибирский Цемент»; 2 участка), ФЛ ООО «Разрез Степановский», старые отвалы, автодороги и печное отопление населенных пунктов (см. рис. 1).

С помощью модельных вычислений получены также оценки количества ЗВ, выпадающих на территории водосборных бассейнов рек промышленного района, часть из которых может быть смыта талыми и дождевыми водами непосредственно в водотоки, а другая – накапливаться в почве, растительности и других наземных экосистемах.

Ниже представлены результаты таких расчетов для территории, прилегающей к промпло-

щадке разреза Бунгурский-Южный, проведенных в сумме для всех групп источников.

Бассейн реки задается на цифровой карте в виде произвольного полигона (рис. 3 А), для каждого из которых определяется покрытие расчетными точками, куда по границе входят все вершины ломаной. Внутри полигона создается прямоугольная сетка с заданным шагом, который используется также для разбиения границы, если длина между соседними вершинами достаточно велика. При вычислении интеграла по бассейну (полигону) последний покрывается минимальным описывающим прямоугольником (часть показана на рисунке 3 В), покрываемым сеткой с начальными шагами dX и dY . В каждой ячейке суммарное выпадение вычисляется как произведение $P_c * S+$, где P_c – среднее выпадение по окружающим ячейку расчетным точкам, а $S+$ – площадь пересечения ячейки с полигоном. Затем шаг покрытия описывающего прямоугольника уменьшается до тех пор, пока результаты интегрирования различаются более заданного предела. Для размеров нашей территории шаг 250 м обеспечивает точность интегрирования на уровне 5 %, 100 м – на уровне 2 %.

В таблице 1 приведено суммарное и удельное (на единицу площади) выпадение ЗВ в бассейны рек от всех групп источников выброса. Кроме пылевых частиц, расчеты проведены для диоксидов азота и серы, данные по которым частично взяты из нормативных баз данных или рассчитаны по удельным показателям. Полуужирным шрифтом в таблице выделены максимальные значения.

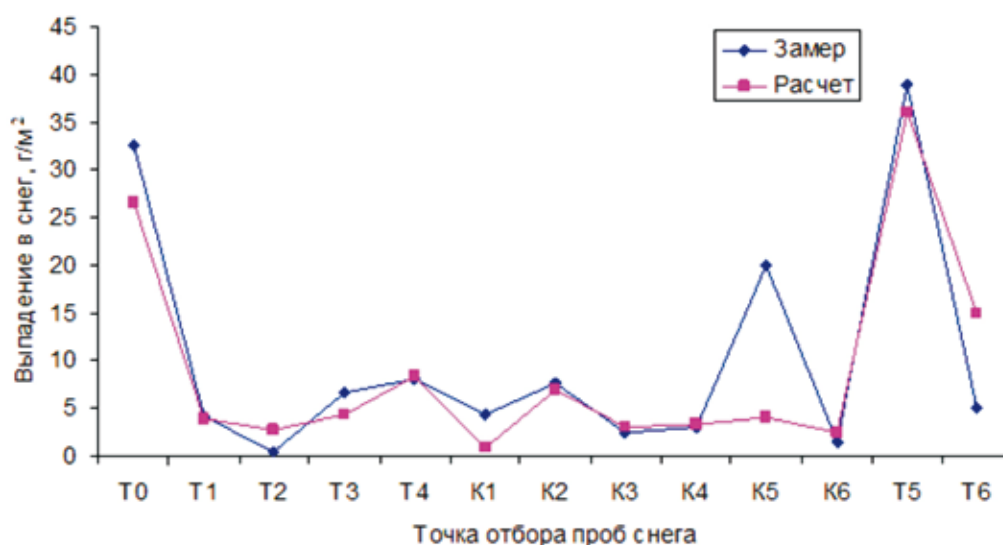


Рисунок 2 – Сравнение значений осадения в снег, полученных по результатам анализа снеговых проб и на основе расчетной модели [5]

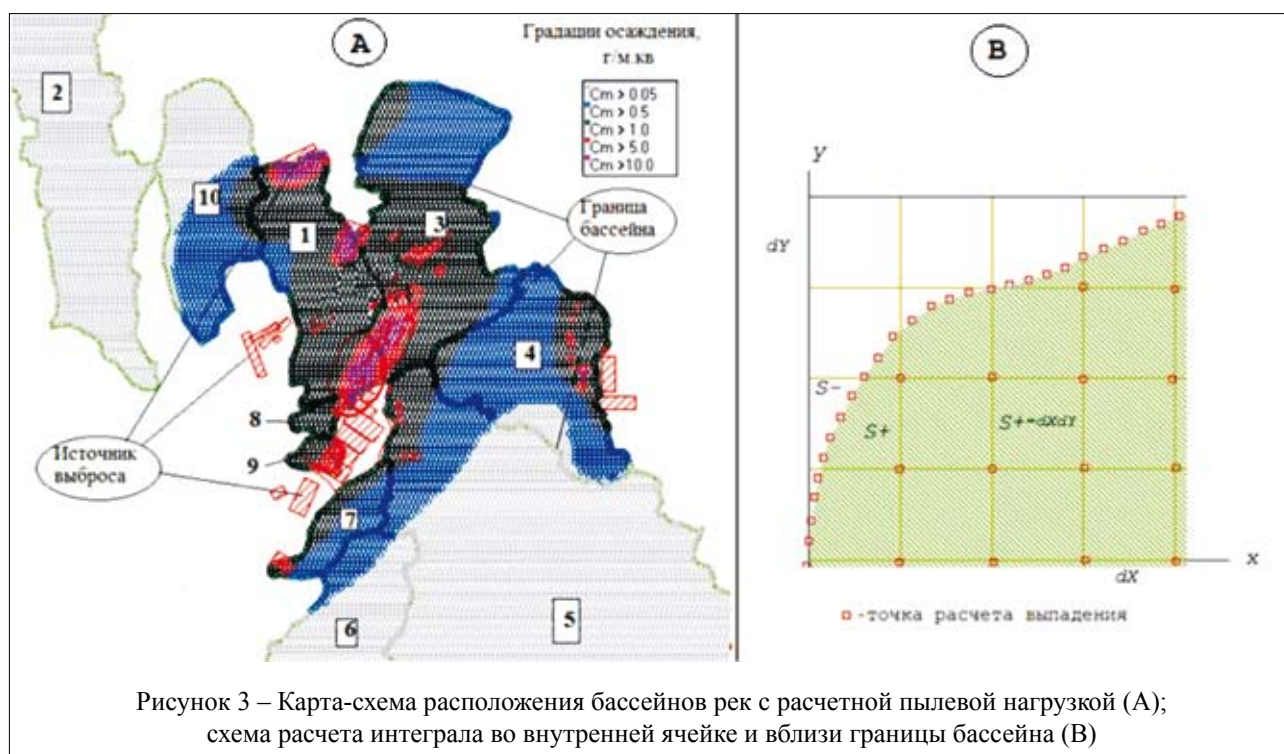


Рисунок 3 – Карта-схема расположения бассейнов рек с расчетной пылевой нагрузкой (А); схема расчета интеграла во внутренней ячейке и вблизи границы бассейна (В)

Таблица 1 – Расчетная оценка выпадения ЗВ в бассейны рек за зимний период

Номер, рис. 3 А	Название реки	Площадь бассейна, км²	Суммарное выпадение на всю площадь бассейна, кг. Выпадение на единицу площади, г/м²		
			Нитраты	Сульфаты	Пыль
1	Кандалеп	48,5	3180/0,066	479/0,099	350000/7,22
2	Таловая	125	670/0,006	63/0,0005	17000/0,14
3	Бунгур	85	4569/0,054	953/0,0112	260000/3,06
4	Учул	61,5	1634/0,027	303/0,0049	82000/1,33
5	Кинерка	304,5	3629/0,012	806/0,0026	102000/0,33
6	Ачигус	52	718/0,014	206/0,0040	22000/1,36
7	Углеп	14,8	4190/0,28	156/0,0105	20100/4,25
8	Безым. Ручей	3,74	264/0,071	47/0,0126	15900/5,12
9	Кишта	3,71	211/0,057	65/0,0175	19000/0,57
10	Березовка	53,1	10760,021	122/0,0043	30340/1,23

На основе расчетных оценок бассейны рек ранжированы по удельному выпадению (г/м²), которое меняется в пределах 0,2–7,3 для пылевых частиц, 0,015–0,066 для нитратов и 0,01–0,018 для сульфатов. В нашей стране нет законодательно установленных (как ПДК в атмосфере) нормативов допустимого осаднения примесей на почву и экосистемы. Однако в рекомендациях по отнесению территорий к зонам экологического бедствия [9] можно найти критические уровни выпадения пыли и основных закисляющих примесей для экосистем северных и центральных районов России: 100, 0,32 и 0,28 г/м² в год для пыли, соединений серы и азота соответственно. Несмотря на то, что непосредственно в промыш-

ленных зонах разрезов расчетные величины осаднения пыли (115 г/м²) и нитратов (0,26 г/м²) сравнимы к указанными критериями, территории бассейнов рек в среднем еще достаточно далеки от такой степени загрязнения, при которой их можно рассматривать как зоны чрезвычайной экологической ситуации.

Теперь рассмотрим проблему обеспечения модели выпадения метеорологическими параметрами, задание которых оказывает существенное влияние на результаты вычислений [8].

Суммарный поток частиц из атмосферы на подстилающую поверхность складывается из вымывания осадками P_m и сухого выпадения P_c . В самом общем и упрощенном виде мо-

крый поток записывается как $P_m = uwq_z$, где u – коэффициент вымывания примеси; w – интенсивность осадков; q_z – интегральная концентрация в вертикальном столбе от земли до нижней границы дождевых (снеговых) облаков, мг/м³. Сухой поток как $P_c = V_d q_0$, где q_0 – приземная ($z = 0$) концентрация примеси, мг/м³; а V_d – скорость выпадения частиц примеси на поверхность, м/с.

Интенсивность осадков w является устойчивой характеристикой как по пространству, так и по времени. Поэтому рассмотрим влияние метеопараметров на скорость выпадения V_d и расчет средней за длительный период концентрации q_0 .

Следует отметить, что имеющий размерность скорости коэффициент V_d фактически является неким коэффициентом захвата поверхностью земли находящихся над ней частиц с концентрацией q_0 . Параметр V_d зависит от скорости гравитационного осаждения V_g , шероховатости поверхности Z_0 и параметров, характеризующих состояние атмосферы. Для выяснения перечня необходимых параметров состояния атмосферы рассмотрим выражение, принятое [10] для расчета V_d в модели AERMOD, рекомендованной природоохранным агентством США для регуляторных приложений (аналогично ОНД-86 в России):

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_p + R_a R_p V_g} + V_g, \quad (1)$$

где R_a – аэродинамическое сопротивление, с/м; R_p – сопротивление ламинарного подслоя, с/м; V_g – скорость гравитационного осаждения частиц, м/с. Не приводя полных формул, укажем зависимости $R_a = R_a(u^*, L, Z_0)$, $R_p = R_p(u^*, L, w^*, \nu)$, где: u^* – скорость трения; L – масштаб Монина–Обухова; Z_0 – параметр шероховатости; w^* – масштаб конвективной скорости; ν – кинематическая вязкость воздуха. Смысл перечисленных параметров пограничного слоя атмосферы можно найти в [11].

Скорость V_g рассчитывается по известной классической формуле Стокса. На рисунке 4 показаны скорости гравитационного осаждения частиц различных размеров применительно к плотностям, характерным для пылевых выбросов угледобывающих предприятий. Расчеты по формуле (1) показывают, что V_d может существенно (в 2–3 раза) отличаться от V_g для мелких частиц (до 20–30 мкм), что, в свою очередь, оказывает значительное влияние на расчет выпадения, особенно на удалении от источника на 1 км и более, т. е. вне границ санитарно защитных зон разрезов.

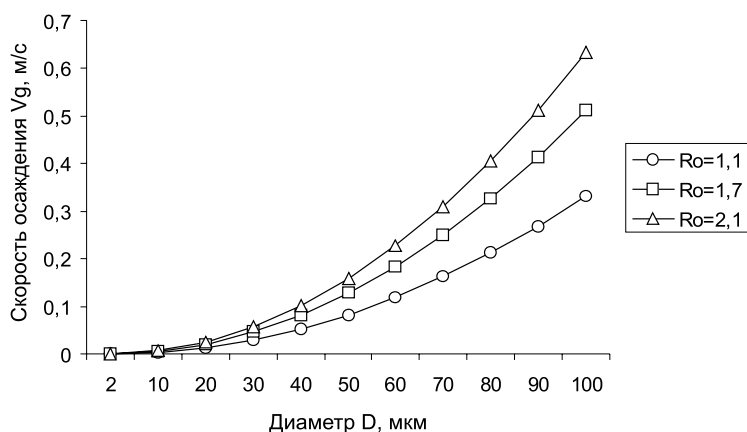


Рисунок 4 – Скорости гравитационного осаждения V_g для частиц различных размеров D и плотностей R_0 , рассчитанные по формуле Стокса

При проведении расчетов выпадения за длительный период необходимо вычисление средней концентрации $q_0(M, r, \varphi)$, где r, φ – полярные координаты расчетной точки, причем r – расстояние от источника, φ – направление ветра, M – средний выброс примеси из источника за период осреднения:

$$q_0(M, r, \varphi) = \frac{p_1(\varphi)M}{r} \int_0^\infty du \int_0^\infty d\lambda p_2(u) p_3(\lambda) q_0(r, u, \varphi, \lambda, H_0). \quad (2)$$

Расшифровка обозначений формулы для подынтегральной функции q_0 и эффективной высоты источника H_e представлены в [4]. Для практического использования соотношения (2) в дополнение к стандартным данным необходимо задать плотности распределения трех метеорологических параметров: направления ветра $p_1(\varphi)$; скорости ветра $p_2(u)$ и интенсивности турбулентного перемешивания $p_3(\lambda)$. Здесь: $\lambda = 1,15K_1/u_2$; K_1 – значение коэффициента турбулентности на уровне 1 м, u_2 – значение скорости ветра на уровне 2 м. Метод перехода от стандартной 8-румбовой розы ветров к $p_1(\varphi)$ и рекомендуемый вид распределений $p_2(u)$ и $p_3(\lambda)$ приведены в [4].

Климатические повторяемости $p_1(\varphi)$, $p_2(u)$ и $p_3(\lambda)$ могут быть запрошены для интересующей территории в ФГБУ «ГГО» с точностью порядка 100 км. Однако при сопоставлении с натурными наблюдениями (например, с данными снеговых проб) интерес могут представлять распределения метеопараметров для конкретного сезона и точного района расположений конкретного пред-

приятия. Функции $p_1(\varphi)$, $p_2(u)$ можно приближенно построить по стандартным наблюдениям на ближайшей метеостанции, но для построения $p_3(\lambda)$ требуются градиентные наблюдения, которые не проводятся в Кемеровской области.

Обеспечение соотношений (1) и (2) качественными и обоснованными метеорологическими параметрами турбулентности возможно реализовать на основе передвижного ультразвукового метеорологического комплекса АМК-03 (www.imces.ru), приобретенного Кемеровским филиалом ИВТ СО РАН в 2012 году. Комплекс непосредственно измеряет проекции скорости и направление ветра; температуру; давление; влажность; плотность воздуха. К вычисляемым параметрам относятся u^* – скорость трения; L – масштаб Монина–Обухова; H – вертикальный поток тепла. Зная параметр шероховатости местности, и оценив высоту слоя перемешивания на основе известных соотношений для пограничного слоя атмосферы можно вычислить все необходимые параметры для расчета среднегодовой концентрации q_0 и скорости выпадения частиц V_d .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 с изменением № 1 СанПиН 2.2.1./2.2.1-2362-08 от 10 апреля 2008 г., № 25. – М., 2008.
2. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду 2.1.10.1920-04. – Москва, 1994. – 163 с.
3. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 92 с.
4. Методика расчета осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (дополнение к ОНД-86). – С-Пб.: ГГО им. А.И.Воейкова, 2005.
5. Быков, А. А. Разработка и апробация локальной модели выпадения загрязняющих веществ промышленного происхождения из атмосферы на подстилающую поверхность / А. А. Быков, Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин, М. Ю. Климович // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т. 10, № 5. – С. 563–573.
6. Быков, А. А. Моделирование загрязнения почвы атмосферными выбросами от промышленных объектов угледобывающего региона / А. А. Быков, Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин, О. В. Смирнова // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 209–217.
7. Быков, А. А. Особенности построения и практического применения локальной модели загрязнений почвы техногенными выбросами пылевых частиц / А. А. Быков, Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2007. – № 4. – С. 74–82.
8. Быков, А. А. Влияние изменчивости метеорологических параметров и дисперсного состава атмосферных выбросов на модельные оценки осаждения промышленной пыли / А. А. Быков, Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2012. – Т. 2, № 4 (52). – С. 10–16.
9. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия : Методика. – Министерство природных ресурсов РФ, 1992, (НЦПИ).
10. Wesely, M. L., P. V. Doskey, and J.D. Shannon, 2001: Deposition Parameterizations for the Industrial Source Complex (ISC3) Model. Draft ANL report ANL/ER/TM-nn, DOE/xx-nnnn, Argonne National Laboratory,

Argonne, Illinois 60439.

11. Хромов, С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова – М.: Гидрометео-издат, 1974. – 569 с.

MODELING THE IMPACT OF ATMOSPHERIC EMISSIONS OF COAL MINING ENTERPRISES ON AIR POLLUTION AND TERRESTRIAL ECOSYSTEMS

A. A. Bykov, E. L. Schastlivtsev, S. G. Pushkin

A set of models for assessment of the impact of atmospheric emissions of coal mining enterprises on air pollution and terrestrial ecosystems is presented. The examples of its use to solve practical problems. The issues of providing special models meteorological parameters are considered.

Key words: AIR EMISSION, AIR POLLUTION, FALL, DUST PARTICLES, METEOROLOGICAL DATA

*Быков Анатолий Александрович
e-mail: bykov@ict.sbras.ru*

*Счастливец Евгений Леонидович
e-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru*

*Пушкин Сергей Григорьевич
e-mail: pushkin@ict.sbras.ru*

Е. Л. Счастливцев

д-р техн. наук, заведующий кафедрой Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

С. Г. Пушкин

канд. хим. наук, старший научный сотрудник Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

Н. И. Юкина

канд. техн. наук, научный сотрудник Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

УДК 556.5: 622.5

МОНИТОРИНГ ТЕХНОПРИРОДНЫХ ВОД

Приводятся сравнительные качественные и количественные оценки состояния водных объектов на основе многопрофильной информации, и обосновывается необходимость кооперации заинтересованных организаций в сфере мониторинга техноприродных вод с целью повышения эффективности природоохранной деятельности.

Ключевые слова: МОНИТОРИНГ, КАЧЕСТВО ТЕХНОПРИРОДНЫХ ВОД, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ, КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

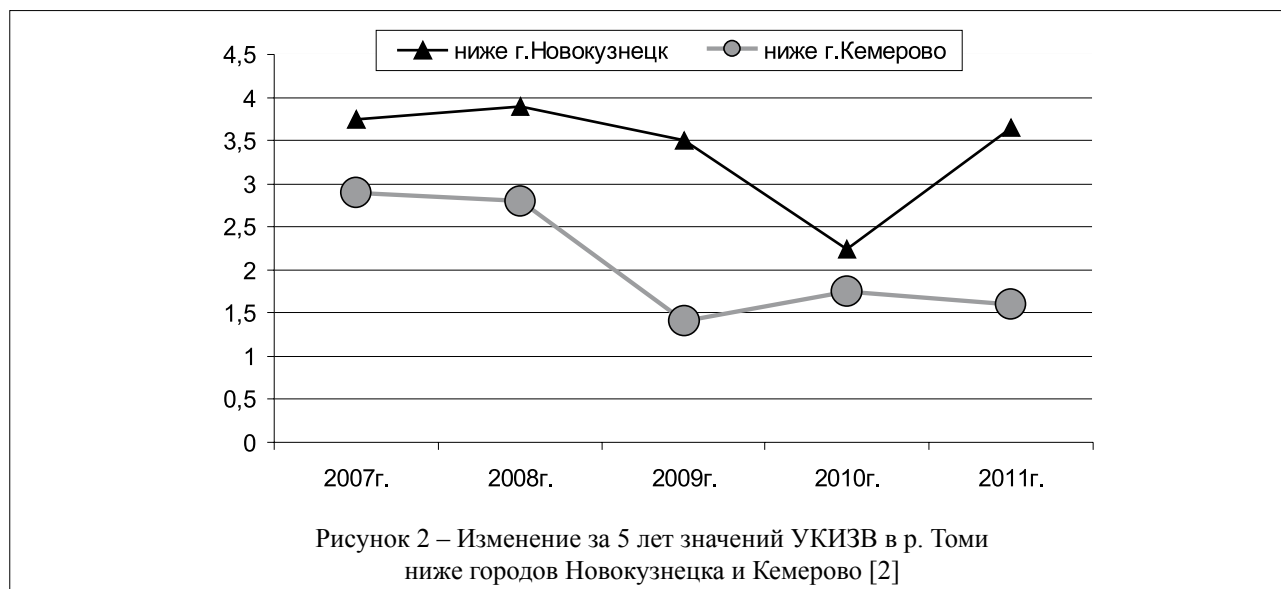
О проблеме повышенной загрязненности большинства водных объектов Кузбасса (сохраняющейся в течение нескольких десятилетий) говорится в ежегодных докладах Росгидромета и Роспотребнадзора, а также во многих статьях и монографиях [1, 2, 4–10].

Так, по данным Роспотребнадзора за период с 2003 года по 2012 год качество воды источников централизованного водоснабжения (реки Томь, Кара-Чумыш, Яя, Кондома, Барзас, Тельбес, Балгашта, Черничный ключ, Кабарзинка, Большая речка, Четвертый ключ, Горный ручей)

несколько улучшилось по микробиологическим показателям и остается стабильно достаточно высоким по санитарно-химическим показателям (рис. 1).

По данным Росгидромета, наиболее загрязненным на контролируемом участке р. Томи по обобщенному показателю удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) является створ ниже г. Новокузнецка (с. Славино), где вода в течение ряда лет характеризуется как очень загрязненная. Загрязненность воды ниже г. Кемерово с 2009 года (рис. 2) сохраняется на уровне 1,5 (слабо загрязненная).





В соответствии с [3] выделяются следующие «базовые» классы качества вод, соответствующие диапазонам изменения УКИЗВ: менее 1 – «условно чистая»; 1–2 – «слабо загрязненная»; 2–3 – «загрязненная»; 3–4 – «очень загрязненная»; 4–8 – «грязная»; 8–11 – «очень грязная»; более 11 – «экстремально грязная». Затем определяются критические показатели загрязненности (КПЗ), учет которых повышает соответствующий класс качества. К сожалению, при этом не рассматриваются ингредиенты с нормативно не узаконенными предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) (взвешенные вещества, фториды и др.).

В 2012 году улучшилось качество воды в створах пгт Крапивинский: УКИЗВ = 2,68 (вода загрязненная); с. Поломошное: УКИЗВ = 1,97 (вода слабо загрязненная). В остальных створах контроля на р. Томь качество воды сохраняется на уровне 2011 года. В створах выше городов Междуреченска и Новокузнецка вода загрязненная (УКИЗВ = 2,33 и 2,90 соответственно); в районе г. Кемерово (пос. Металлплощадка, деревни Верхотомка и Подъяково) вода сохраняется как слабо загрязненная (УКИЗВ = 1,45/1,73/1,63 соответственно) [2].

В связи с увеличением объемов угледобычи и промышленного производства усложняются задачи оценки качества техноприродных вод, воздействий на них сбросов предприятий угледобывающей и других отраслей промышленности, а также планирования природоохранных мероприятий. Такая ситуация может быть вызвана, например, контролем состава различных вод несколькими организациями, использующими свои ведомственные методики анализа и работающими по своим программам. Так, Ке-

меровский Центр мониторинга геологической среды (КЦМГС) осуществляет контроль подземных вод; Кемеровский Областной Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (КО ЦГМС) контролирует поверхностные воды; Роспотребнадзор (УФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека) осуществляет мониторинг сточных вод промышленных предприятий, речных вод подверженных воздействию промышленных стоков и снеговых осадков; мониторинг стоков угледобывающих предприятий (УДП) осуществляется ведомственными лабораториями промышленных предприятий; Кузбасский Центр экологического мониторинга ликвидируемых шахт (КЦЭМЛШ) ведет наблюдение за качеством вод, сбрасываемых закрытыми шахтами. При этом общие целевые установки отсутствуют, а перечни определяемых ингредиентов на различных пунктах мониторинга содержат от 10 до 70 показателей и слабо отражают специфику сбросов.

В Институте вычислительных технологий СО РАН создаются модернизированные информационно-вычислительные системы (МИВС) всё более высокого уровня, позволяющие расширять возможности существующих современных систем мониторинга. МИВС водных ресурсов нового поколения объединяет информационные базы данных мониторинговых систем вышеупомянутых и научно-исследовательских организаций в единую базу метаданных, которая сопровождается базами картографической информации на основе геоинформационных систем (ГИС) и спутниковых снимков (рис. 3).

В составе МИВС функционирует комплексная научно-ориентированная система мониторинга водных объектов (КНОСМВО).



Рисунок 3 – Бассейны малых рек на территории освоения Бунгуро-Чумышского месторождения, выделенные с использованием ГИС и спутниковой информации

Элементы комплексной научно-ориентированной системы мониторинга водных объектов

КНОСМВО объединяет экспериментальные данные о водных объектах различных «мониторинговых» и научно-исследовательских организаций в единую базу знаний, которая позволяет анализировать многопрофильную информацию с использованием современных информационно-вычислительных технологий.

Кроме данных официальных источников, для получения информации о качестве водных объектов используются результаты экспедиционных исследований разных авторов с применением мобильных портативных лабораторий и современных физико-химических методов и приборов, имеющих, в том числе, в аналитических центрах ведущих Институты РАН.

Оригинальные данные ведомственных лабораторий о сбросах УДП (входящие в обобщенном виде в справочные материалы 2ТПВодхоз, содержащие только среднегодовую информацию) позволяют детализировать результаты наземного мониторинга природных и техногенных вод угледобывающих районов.

Для оценки качества вод (в течение длительного времени) при выполнении природоохранных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в Кузбассе нами применяется оригинальная методика (согласуется с методическими указаниями Росгидромета и Роспотребнадзора [2], но не содержит декларируемых в них ограничений), позволяющая в последующем формировать водоохранные рекомендации. На первом этапе определяются нормализованные параметры состава

различных (i -тых) типов вод ($НП_{ij}$), которые являются относительными величинами, вычисляемыми по формуле $НП_{ij} = C_{ij} / ПДК$, где C_{ij} – усредненные концентрации j -тых ингредиентов, ПДК – предельно допустимые концентрации питьевого ($п$), рыбо-хозяйственного ($рх$), хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рекреационного использования. Для ряда ингредиентов (не имеющих ПДК) используются условно-нормативные величины ($НВ^y$), в основном средние по выборкам экспериментально измеренных концентраций со значениями ниже среднегодовых или среднесезонных в водах данного региона. Такие $НВ^y$ приближенно характеризуют геохимическую природную ситуацию или некоторый минимальный антропогенный уровень, к которому необходимо стремиться на первом этапе при осуществлении природоохранных мероприятий. На втором этапе вычисляются средние из N индивидуальные $НП$ – называемые ассоциативными N – параметрическими показателями качества воды ($АП_N$). На их основе выявляются группы приоритетных ингредиентов, по которым требуется первоочередная очистка данных типов вод. После процедуры выявления приоритетных загрязнителей должна осуществляться идентификация их источников с последующими оценками вкладов отдельных специфических промышленных сбросов в загрязнение вод.

КНОСМВО использует данные дистанционного зондирования для получения актуальной информации о состоянии водных объектов и прилегающих к ним территорий, испытывающих негативное влияние промпредприятий. В результате обработки снимков генерируются карты зон угнетения, что является основой для геоэкологи-

ческих оценок.

Наряду с мониторинговыми показателями качества вод на основе физико-химических анализов отбираемых проб в КНОСМВО используются модельные комплексы для создания пространственно-временных полей текущего состояния и прогнозных оценок качества водных объектов.

Ниже приведен ряд примеров, иллюстрирующих возможности МИВС и КНОСМВО.

Поверхностные воды

Территория освоения Бунгуро-Чумышского месторождения плохо изучена с точки зрения гидролого-гидрохимических исследований. В 2011–2013 гг. нами впервые получены гидрохимические данные о качестве воды в р. Чумыш в районе расположения устья р. Кандаlep [10].

Поверхностные воды р. Чумыш характеризуются следующими 24 ингредиентами: благополучными (НП<1) – калий, кобальт, кадмий, свинец, мышьяк, азот нитратный, кремний, сульфаты, магний, никель, кальций, цинк, азот аммония, нефтепродукты, гидрокарбонаты; приоритетными (НП>2,5) – марганец, железо общ., взвешенные вещества, фенол, медь и чрезмерными (НП>1), в состав которых, помимо приоритетных, входят азот нитритный, ХПК и БПК₅. Воды р. Кандаlep также характеризуются повышенной загрязненностью.

С целью получения более статистически обоснованных показателей качества вод района обработаны данные Росгидромета с 1990 года по 2003 год по пункту «выше г. Осинники» и данные КЦЭМЛШ по р. Кондома в районе сбросов закрытой ш. Шушталепская (2010–2011 гг.). Поверхностные воды характеризуются следующими 30 ингредиентами: благоприятными – хлориды, свинец, азот нитратный, фосфаты, кальций, минерализация, магний, сульфаты, СПАВ, никель, гидрокарбонаты, кремний, кислород, азот нитритный, ХПК, азот аммонийный, углекислый газ, алюминий, БПК₅, марганец, цинк, молибден; приоритетными – железо, смолы и асфальтены,

медь, нефтепродукты, фенолы, хром, взвешенные вещества; чрезмерными, в состав которых входят, наряду с приоритетными, дополнительно фториды. Класс качества поверхностных вод на основе АПп = 6,5 (грязная). Качество воды, оцененное по среднегодовым показателям, колеблется от «грязной» до «экстремально грязной», что согласуется с оценками Росгидромета по показателю УКИЗВ (рис. 4). При этом наши оценки учитывают, в том числе, данные по взвешенным веществам и фторидам, а также позволяют формировать первоочередные мероприятия по снижению загрязненности этих вод, например по приоритетным ингредиентам, что является несомненным преимуществом описанного выше подхода.

Кроме того, совместный анализ гидрохимических и гидрологических данных позволяет получать показатели качества речных вод в различные гидрологические сезоны (половодья – ПЛ, дождей – Д, летне-осенней межени – ЛОМ, зимне-весенней межени – ЗВМ), что не фиксируется в отчетах Росгидромета (рис. 5). Концентрации приоритетных ингредиентов (алюминий, медь, фенолы, хром, железо и взвешенные вещества) речных вод в период половодья более чем в 10 раз превышают аналогичные значения зимне-весенней межени (когда основной вклад в загрязненность вод вносят сосредоточенные промышленные источники сбросов). Это свидетельствует об атмосферном доминирующем вкладе в загрязненность воды весеннего периода оседающих на снег поллютантов.

Дополнительные возможности, связанные с прогнозными пространственно-временными оценками распространения примесей в водных объектах, появляются при использовании различных модельных комплексов (рис. 6).

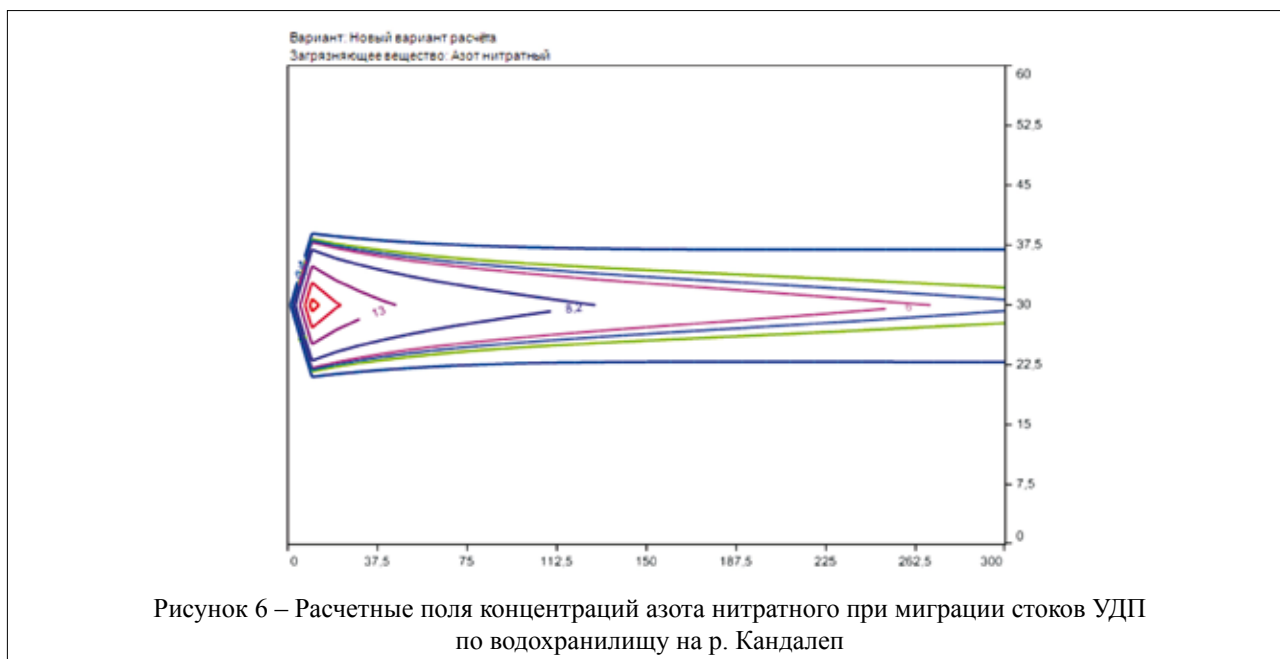
Так, при изучении качества воды в р. Кандаlep были получены гидрохимические данные только по двум точкам наблюдения, находящимся в верхнем и нижнем бьефах водохранилища. При использовании дополнительной гидрологической, гидрохимической и метеорологической информации и калибровки модели по экспери-



Рисунок 4 – Среднегодовые АПп речных вод



Рисунок 5 – Сезонные АПп речных вод



ментальным данным получены поля концентраций различных ингредиентов в этом водоеме рекреационного назначения, которые в последующем будут применяться при разработке природоохранных мероприятий.

Воды действующих карьеров

Стоки действующих в этом районе карьеров (по данным экспедиций 2011–2013 гг.) характеризуются следующими 19 ингредиентами: благоприятными – азот нитратный, гидрокарбонаты, кальций, сухой остаток и хлориды; приоритетными – марганец, медь, взвешенные вещества, нефтепродукты, азот нитритный, алюминий, железо, магний, фенолы; чрезмерными, в состав которых входят, наряду с приоритетными, дополнительно: азот аммонийный, БПК₅, сульфаты, ХПК, цинк. Класс качества сточных вод на основе АПп = 13 «экстремально грязная», что свидетельствует о необходимости осуществления первоочередных водоохранных мероприятий по снижению загрязненности стоков приоритетными ингредиентами.

Воды старых карьерных горных выработок

Подготовительные вскрышные работы и добыча угля на территории Бунгуро-Чумышского месторождения в основном открытым способом в течение более чем сорока лет привели к образованию карьеров площадью до нескольких гектаров и глубиной более ста метров. В дальнейшем такие старые горные выработки за-

полняются водой, обогащенной рядом вредных загрязнителей, что приводит к негативному воздействию на окружающую среду не только в настоящее время, но и в обозримом будущем. С целью получения статистически обоснованных гидрохимических показателей «рукотворных» озер были обследованы воды четырех из них.

Воды старых карьерных горных выработок (по данным экспедиций 2011–2013 гг.) характеризуются следующими 19 ингредиентами: благоприятными – азот нитратный, азот нитритный, гидрокарбонаты, железо, кальций, магний, марганец, нефтепродукты, сухой остаток и хлориды; приоритетными – алюминий, БПК₅, взвешенные вещества, медь, фенолы; чрезмерными, в состав которых входят, наряду с приоритетными, дополнительно: азот аммонийный, сульфаты, ХПК, цинк. Класс качества сточных вод на основе АПп = 12,5 «экстремально грязная». Использование таких вод без очистки ограничено.

Воды действующих шахт

Использование оригинальной информации химических лабораторий УДП о качестве транзитных вод на участке от выпуска из шахты до стока в реку и речных вод выше и ниже промброса позволяет осуществлять относительные оценки различных типов вод. Так, стоки действующих шахт (на примере ш. Кирова, расположенной в бассейне р. Иня) после очистных сооружений характеризуются следующими 20 ингредиентами: благоприятными – азот нитратный, никель, СПАВ, БПК, хлориды, хром, азот аммиака, фенолы, кислород; приоритетными –

железо, взвешенные вещества, нефтепродукты; чрезмерными, в состав которых входят, наряду с приоритетными, дополнительно: сульфаты, марганец, азот нитритный, ХПК, сухой остаток, рН, медь и цинк. Класс качества на основе АПп = 3,2 «очень загрязненная». Первоочередные водоохраные мероприятия – доочистка стоков по приоритетным ингредиентам.

Воды р. Иня выше сброса ш. Кирова, характеризуются теми же 20 ингредиентами, заметно чище стоков только по сухому остатку, сульфатам и хлоридам в 2–3 раза соответственно. Их класс качества на основе АПп = 2,8 «загрязненная». Изменение состава вод реки ниже сброса ш. Кирова по данным ингредиентам статистически не выявляется из-за повышенной загрязненности стоками выше расположенных предприятий. В связи с тем, что эта дополнительная (по сравнению с годовыми отчетами 2 ТПВодхоз) информация достаточно важна для планирования природоохранных мероприятий, видимо, целесообразно добавлять в годовые таблицы 2 ТПВодхоз данные о качестве вод, принимающих сбросы.

Воды закрытых шахт

Закрытие шахт методом частичного или полного затопления зачастую приводит к обострению гидроэкологических проблем недропользования в Кузбассе, таких как:

- уменьшение запасов природных подземных вод, перспективных для питьевого водоснабжения;
- интенсификация процессов их загрязнения;
- возникновение в районах затопления предпосылок для проявления локальных процессов проседания поверхности и заболачивания земли.

Стоки старых шахтных выработок характеризуются как благоприятными (азот нитратный, азот нитритный, нефтепродукты и хлориды), так и чрезмерными (взвешенные вещества, марганец, железо, сульфаты, БПК, ХПК, фенолы, сухой остаток, медь, цинк) ингредиентами.

Помимо количественных превышений концентрации загрязняющих веществ, наблюдается отличие ионного состава сточных вод закрытых шахт от аналогичных показателей подземных вод. Так, подземные воды бассейна р. Иня имеют следующий ионный состав: гидрокарбонатно-натриевые (89 %), сульфатно-

натриевые (8 %) и хлоридно-натриевые (3 %). В то же время сточные воды ш. Пионерка состоят из гидрокарбонатно-кальциевых (87 %) и сульфатно-кальциевых (13 %) вод. Сравнение составов подземных вод и стоков закрытых шахт для бассейна р. Иня свидетельствуют о том, что закрытые шахты все еще являются источником загрязнений подземных вод. Отработанное подземное пространство закрытых шахт, с одной стороны, является источником повышенного выноса для многих ингредиентов, а с другой – может быть использовано как первая стадия очистки шахтных, карьерных вод и сбросов обогатительных фабрик. После прохождения стоков обогатительной фабрики по горным выработкам ш. Кольчугинская концентрация в них взвешенных веществ уменьшается в десятки раз. Затем сбросы подвергаются доочистке в очистных сооружениях ш. Красноярская.

Таким образом, описанные выше примеры показывают, что для выработки научно обоснованных природоохранных мероприятий необходимы обобщение, совместный анализ и обработка данных различных «мониторинговых» и научных организаций, а также формирование модельных представлений о водных объектах, что должно стимулировать кооперацию заинтересованных организаций в сфере мониторинга техноприродных вод.

Перспективы совершенствования систем мониторинга водных объектов связаны с созданием и внедрением на промпредприятиях многофункциональных автоматизированных систем датчиков контроля физико-химических показателей сбросов; применением мобильных портативных лабораторий для экспресс-анализов проб при экспедиционных обследованиях; использованием современных физико-химических приборов (храмато-масс-спектрометров, атомно-эмиссионных спектрометров с индуктивно-связанной плазмой, анализаторов гамма-излучения и т. п.) для всестороннего обследования образцов; развитием систем космического мониторинга состояния объектов земной поверхности, а также систем наблюдения и видеорегистрации, устанавливаемых на беспилотных и пилотируемых малометражных летательных и плавательных аппаратах; использованием всё более информативно насыщенных математических моделей для оценок, мониторинга и прогнозирования состояния и тенденций изменения объектов техноприродных сред.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Кемеровской области в 2012 году : гос. доклад / Администрация Кемеровской области; Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области; Областной комитет природных ресурсов. – Кемерово, 2013. – 267 с. – Режим доступа : <http://gosdoklad.kuzbasseco.ru/>
2. О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2006–2012 гг. : доклад / Администрация Кемеровской области; Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области; Областной комитет природных ресурсов. – Кемерово, 2013. – 267 с. – Режим доступа : <http://gosdoklad.kuzbasseco.ru/>
3. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям : РД 52.24.643-2002 : утв. Росгидрометом 03.12.2002 : введ. в действие 03.12.2002. – Режим доступа : <http://rosengineering.ru/>
4. Потапов, В. П. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса / В. П. Потапов, В. П. Мазикин, Е. Л. Счастливцев, Н. Ю. Вашлаева. – Новосибирск: Наука, 2005. – 660 с.
5. Ковалев, В. А. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса / В. А. Ковалев, В. П. Потапов, Е. Л. Счастливцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 312 с.
6. Гридин, В. Г. Методика оценки влияния различных эколого-экономических факторов на промышленный регион (на примере топливно-энергетического комплекса Кузбасса) / В. Г. Гридин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2007. – № 1. – С. 116–121.
7. Попов, А. А. Пути решения чрезвычайных экологических ситуаций в Кузбассе / А. А. Попов, А. В. Тараканов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. – № 1. – С. 157–162.
8. Счастливцев, Е. Л. Некоторые результаты использования гидрохимически ориентированного программного комплекса для оценок ионного состава техноприродных вод Кузбасса / Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин, А. А. Воротилов // Вестник КемГУ. – 2012. – № 4 (52), Т. 2. – С. 181 – 188.
9. Счастливцев, Е. Л. Оценка техногенного воздействия угольных предприятий на водные объекты / Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин, Н. И. Юкина, И. А. Жукова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 066. – С. 496–506.
10. Счастливцев, Е. Л. Параметры изменчивости состава шахтных и карьерных стоков на участках транзита от предприятия до реки / Е. Л. Счастливцев, С. Г. Пушкин, Н. И. Юкина // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : труды Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 20–24 авг. 2012 : в 3 т. – Барнаул, 2012. – Т. 3. – С. 153–161.

NATURAL AND TECHNOGENIC WATER MONITORING

E. L. Schastlivtsev, S. G. Pushkin, N. I. Yukina

Comparative qualitative and quantitative assessment of water objects condition on the basis of multidisciplinary information is presented and the necessity of interested organization cooperation in the natural and technogenic water monitoring aimed to improve the nature protection activities effectiveness is proved.

Key words: MONITORING, QUALITY OF NATURAL AND TECHNOGENIC WATER, WATER OBJECTS, WASTE WATER, COAL-MINING ENTERPRISES, SPACE MONITORING, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Счастливцев Евгений Леонидович
e-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru

Пушкин Сергей Григорьевич
e-mail: pushkin@ict.sbras.ru

Юкина Наталья Ивановна
e-mail: yukina@ict.sbras.ru

О. Л. Гиниятуллина

канд. техн. наук, научный сотрудник института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

В. П. Потапов

д-р техн. наук, директор института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

УДК 574:528.88

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассматривается вопрос применения данных дистанционного зондирования Земли для решения задач геоэкологического мониторинга угледобывающих районов. Приводится алгоритм комплексного обследования состояния окружающей среды по космоснимкам. На примере горнопромышленного района Кузбасса показано практическое применение дистанционного мониторинга для оценки воздействия угледобычи на природные объекты.

Ключевые слова: ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ, ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, УГЛЕДОБЫЧА

Высокие требования, предъявляемые в настоящее время к мероприятиям по охране окружающей среды в зонах угледобычи, выявляют необходимость пересмотра основных подходов к их проведению. Классические методы геоэкологического мониторинга не дают удовлетворительных результатов при обследовании больших территорий, характерных для угледобывающих районов, что обусловлено точечным характером отбора проб и трудоемкостью, а часто и труднодоступностью мест обследования, в то время как требуется практически одномоментный анализ состояния большой площади.

При проведении геоэкологического мониторинга наиболее часто возникает ряд вопросов, которые связаны с определением границ объектов, выделением класса загрязняющих веществ, определением влияния загрязнения на растительность/почву, обнаружении зон деформаций земной поверхности. Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предоставляют уникальные инструменты для решения подобных задач. Применение космоснимков для решения задач мониторинга окружающей среды в зонах угледобычи позволяет отслеживать загрязнения водного бассейна, анализировать состояния растительности, выявлять деградацию почвенных покровов.

Таким образом, можно выделить следующие классы задач, решаемых технологиями дистанционного зондирования: 1. Определение

воздействия на окружающую среду; 2. Оценка загрязнений; 3. Определение границ и зон деформаций антропогенных объектов.

На сегодняшний день предлагаются следующие типы данных дистанционного зондирования, которые могут применяться при мониторинге окружающей среды: мультиспектральные, гиперспектральные и радиолокационные данные. Каждый тип данных имеет свои методы и алгоритмы обработки, а также классы решаемых задач. Рассмотрим более подробно применение данных дистанционного зондирования при обследовании конкретного угледобывающего района (рис. 1).

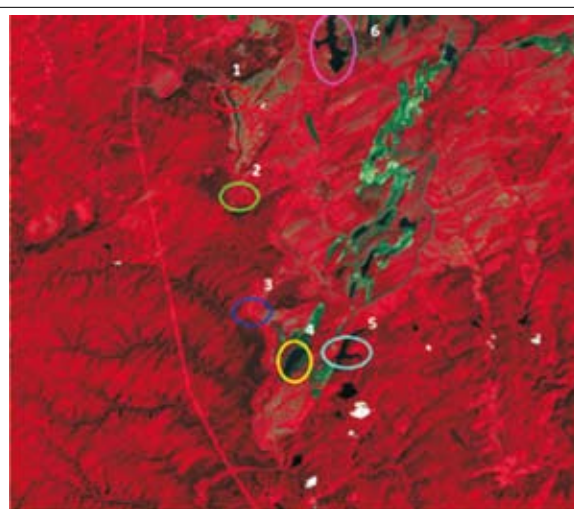


Рисунок 1 – Бунгурский геолого-промышленный район Кузбасса

Одной из серьезных проблем является загрязнение водных объектов в районах с активной угледобычей. Несмотря на то, что с 1959 г. разрабатывались, а в 1976 г. были введены методические указания по санитарной охране водоемов от загрязнения сточными водами предприятий угольной промышленности [1,2], и в последние десятилетия законодательно определены работы по очистке шахтных вод, состояние водной акватории крупных угледобывающих районов (Донбасс, Кузбасс, Канско-Ачинский угольный бассейн) вызывает серьезную тревогу. Ежегодно объемы сточных вод в Донецкой области составляют около 2 млрд м³, причём на угольную промышленность приходится более 50 % всех стоков. Для Кузбасса эта цифра составляет 58,9 % (1515,44 млн м³/г) неочищенных вод. При этом угольные предприятия сбрасывают 34,4 % всех взвешенных веществ и до 10 % нефтепродуктов.

Влияние горных работ на речной сток определяется величиной разгрузки подземных вод в реку за счет шахтного или карьерного водоотлива, увеличения питания реки по тем же причинам и уменьшения запасов подземных вод. Осушение районов добычи приводит к уменьшению запасов вод в поверхностных водоемах, высыханию колодцев и водозаборных скважин, иссяканию источников, ручьев и небольших речек. Для примера, в Кузбассе за последние 10 лет в зоне горных работ исчезло около 200 речек, кроме того, действующая речная сеть сократилась на 365 км.

При анализе водной акватории в качестве источников спектральных данных о водных объектах предлагаем использовать комбинацию снимков спутниковых группировок (Landsat, Spot 4, Modis, RapidEye и др.) с различным пространственным разрешением (5–30 м/пикс). Основ-

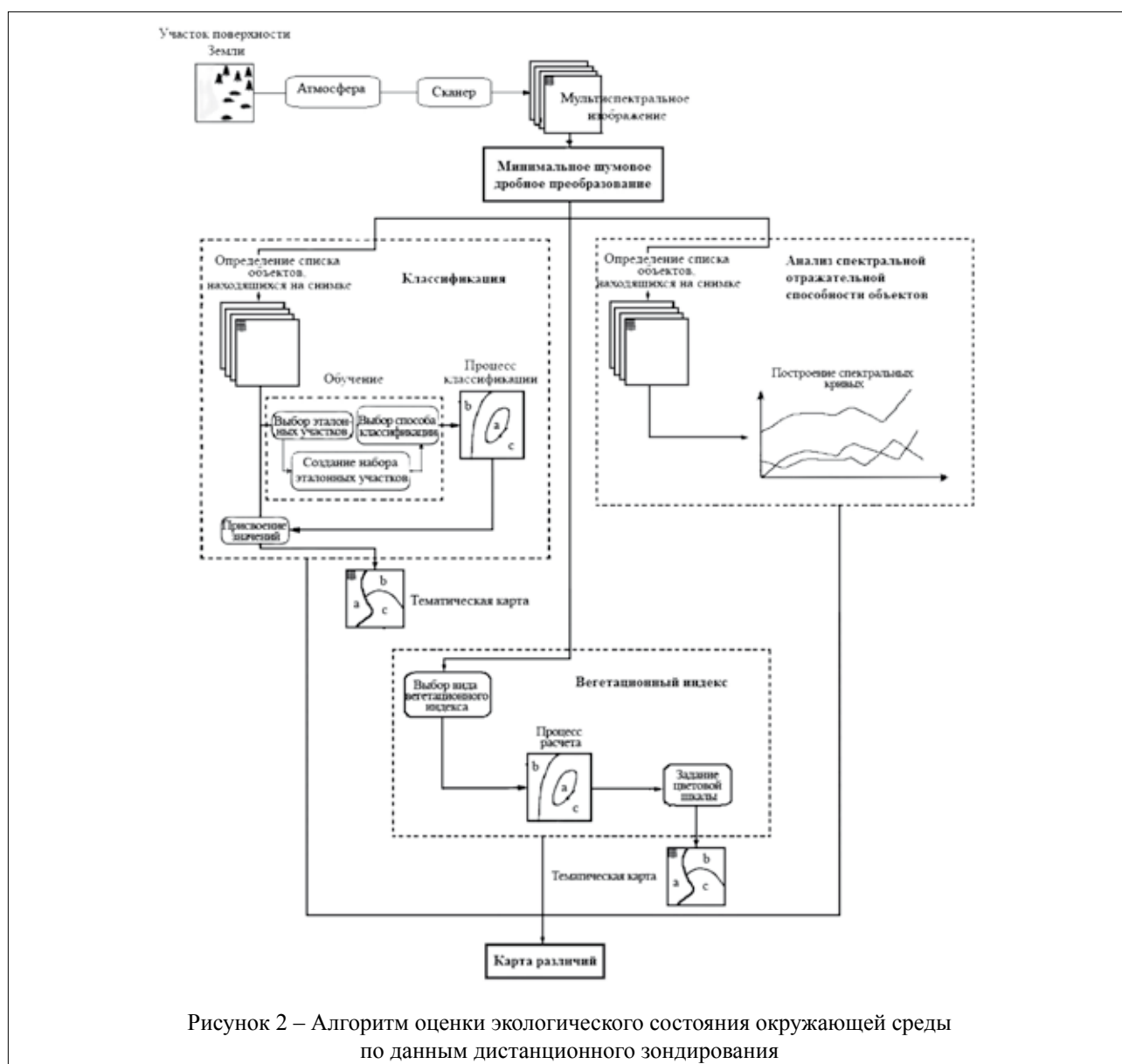


Рисунок 2 – Алгоритм оценки экологического состояния окружающей среды по данным дистанционного зондирования

ным методом анализа подобных данных является дешифрирование, которое выполняется по трем параметрам: текстура, структура и спектральные свойства объектов. В совокупности данные характеристики позволяют идентифицировать пространственные объекты на снимках, а также отслеживать их динамику. На рисунке 1 представлены зоны водных объектов, которые были подвергнуты обследованию.

Для оценки экологического состояния регионов разработан алгоритм обработки данных ДЗЗ (рис. 2), выполнение которого позволяет отследить и картировать изменения в интересующий момент времени.

Так как при оценке состояния водных объектов существенное значение играет минимальное отклонение спектральной отражательной способности, то для анализа необходимо удалить все возможные шумы из данных. Для отделения шума, присутствующего в исходных спектральных каналах, применяется минимальное шумовое дробное преобразование, которое также позволяет снизить вычислительные требования для последующей обработки снимка [3].

Данное преобразование является линейным и состоит из анализа двух отдельных независимых главных компонент. Метод заключается в нахождении таких базисных векторов исследуемого многомерного пространства, которые бы наилучшим образом отражали расположение некоторых исходных данных в этом пространстве (характеризовали их).

Для определения границ водных объектов с целью обнаружения возможных загрязнений, определения их типов и очагов локализации применяются алгоритмы классификации с обу-

чением (рис. 3), а также анализ спектральной отражательной способности объектов [4]. Применение алгоритмов классификации без обучения (методом IsoData и K-Means) не дает удовлетворительных результатов, т. к. территории обследования, как правило, имеют ярко выраженный рельеф с большим включением антропогенных объектов. При использовании более 20 классов становится трудно выделять объекты одного характера, тем самым внося существенные погрешности в дешифрирование снимков.

Большинство природных образований обладает различиями не в интегральной, а в спектральной отражательной способности. Для характеристики отражательных свойств чаще всего используют коэффициенты спектральной яркости, т. е. отношение монохроматических яркостей, которые можно анализировать в виде таблиц или графиков, называемых кривыми спектральной яркости.

В результате исследования на рассматриваемые водные объекты, заявленные выше, созданы спектральные библиотеки, содержащие кривые спектральной отражательной способности как по каждому узкому каналу, так и синтезированные. Следует заметить, что между спектральными кривыми озер и рек существует принципиальное отличие, представленное на рисунке 4. Как видно, графики спектральной отражательной способности закрытых водоемов имеют характер плавной кривой со снижением значения отражения с увеличением длины волны. Для объектов с активным током характерна несколько другая картина с резким ростом значений в зонах CIR и SWIR электромагнитного спектра. Подобная ситуация обусловлена тем,

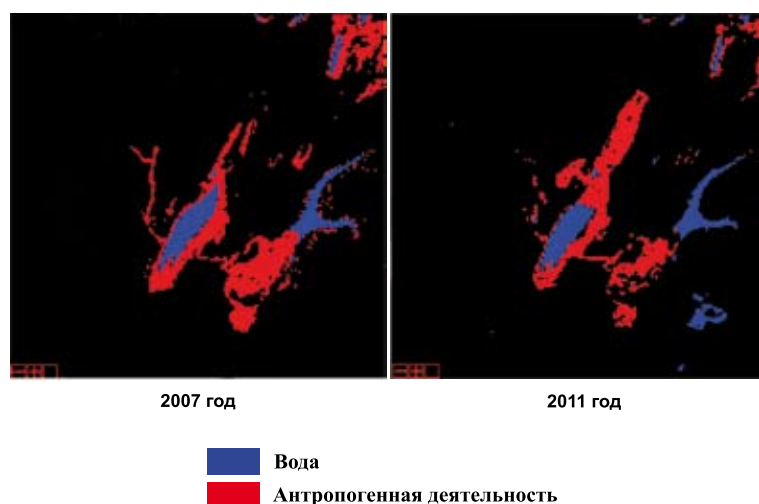


Рисунок 3 – Результат классификации на основе спектрального угла (участок Апанасовский)

что именно эти две зоны очень чувствительны к наличию примесей, растворенных в водной среде [3–5]. В закрытых водоемах подобные включения имеют тенденцию к оседанию на дно, в то время как в объектах с активным током идет постоянное перемешивание частиц в силу природных физических факторов, которые вызывают скачок значений отражений.

При анализе закрытых водоемов за эталон была взята спектральная кривая оз. Байкал (4), т. к. в нем содержится очень небольшое количество растворенных и взвешенных минеральных веществ, ничтожно мало органических примесей,

много кислорода, а в воде – так мало минеральных солей (96,7 мг/л), что она может использоваться вместо дистиллированной. Для анализа объектов с активным током в качестве эталона взята спектральная кривая из открытой библиотеки NASA. Затем выполнено сравнение полученных кривых между собой и с эталонными при помощи нормализации спектра коэффициента отражения, т. е. удаление континуума снимка, соответствующего второстепенному сигналу, не связанному с определенными поглотительными особенностями. С целью нормализации спектров к общей величине используется контину-

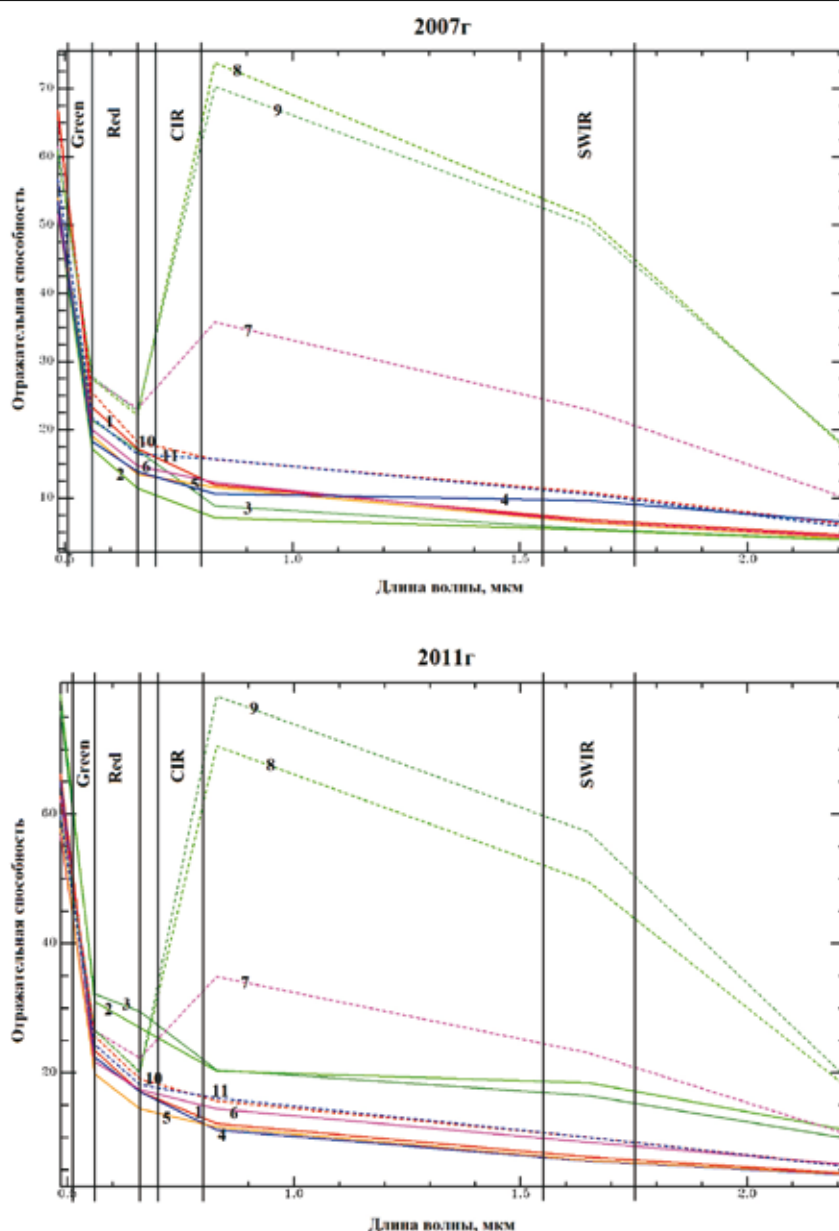


Рисунок 4 – Спектральные кривые:

- 1 – оз. Байкал (Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат);
- 2 – оз. Байкал (центр озера); 3 – оз. Байкал (р. Селенга);
- 4 – оз. Байкал (заповедник); 5 – оз. Телецкое; 6 – оз. Танай;
- 7, 8, 9 – р. Чумыш; 10, 11 – природно-техногенные водоемы Бунгурского района

ум, сформированный посредством определения высоких точек спектра (локальных максимумов) и соответствующий прямолинейным отрезкам между этими точками. Континуум удаляется путем деления его на оригинальный спектр. В итоге получают нормализованные спектральные кривые, которые соответствуют диапазону значений эталонных кривых из библиотек.

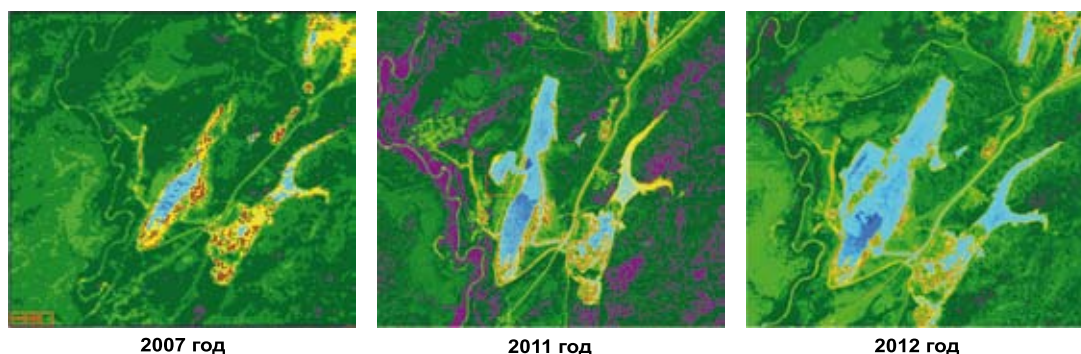
В ходе исследования были получены следующие результаты: наличие фитопланктона в воде можно отследить в зеленой (чем сильнее отражение, тем больше фитопланктона в воде) и красной (хлорофилл фитопланктона поглощает излучение и вызывает понижение яркости) зонах. Превышение количества взвешенных частиц в воде увеличивает отражение в ближней ИК-зоне спектра, а органические вещества (нефтепродукты, фенолы и т. п.) – в средней ИК-зоне. Таким образом, можно отследить, что наибольшее количество загрязняющих веществ (органических и неорганических) содержится в природно-техногенных водоемах Бунгурского района (2007–2011 гг.), а на озере Танай в 2011 г. наблюдается цветение водорослей, вызванное внезапным увеличением объема фитопланктона. Для русла реки Чумыш характерна картина с высоким содержанием взвешенных частиц и органических веществ вблизи угольного разреза, что вызвано смывом ливневым стоком данных веществ с бортов разреза и постепенным ослаблением их концентрации по току русла. Концентрация веществ в области населенного пункта (пос. Костеньково) достигает небольших значений, которые соответствуют санитарным нормам и удерживаются очистными сооружениями местной водоканальной системы.

Однако наличие загрязняющих веществ в водной среде не может не оказывать влияния на растительный мир. Анализ растительности предлагаем проводить по вегетационным ин-

дексам в динамике за несколько лет. Причем, так как существует тесная взаимосвязь «вода–растительность», то для адекватной и точной оценки, кроме нормализованного разностного индекса NDVI, следует применять комплекс индексов: инфракрасный вегетационный индекс; индексы, устойчивые к влиянию атмосферы (GEMI, ARVI, GVI); индексы, рассчитываемые по значениям коэффициентов отражения в узких спектральных диапазонах; индексы содержания влаги в растительности. Комплексное исследование растительности позволяет очерчивать ареолы угнетения биомассы и следить за их динамикой. Почти все распространенные вегетационные индексы используют только соотношение красного (RED) – ближнего инфракрасного (NIR) каналов, предполагая, что в ближней инфракрасной области лежит линия открытой почвы. Подразумевается, что эта линия означает нулевое количество растительности. На рисунке 5 приведены результаты расчета индекса для участка Апанасовский.

Как видно на рисунке 5, с 2007 г. по 2011 г. наблюдалось увеличение растительной биомассы, что выражено в оттенках красного, в 2012 г. зафиксировано снижение общего количества растительности, что может быть обусловлено природными условиями. Однако сложившаяся ситуация требует внимания специалистов по загрязнению воды, так как может являться побочным эффектом угледобычи.

В результате выполнения описанных алгоритмов можно получить карту различий за 2007–2012 гг. Для того, чтобы оценить масштаб всех изменений в целом, используются алгоритмы предварительной обработки, такие как нормализация (вычисляется путем вычитания изображений минимума и деления на диапазон данных изображения) и стандартизация (вычисляется путем вычитания изображений среднего и деле-



2007 год

2011 год

2012 год

Рисунок 5 – Результат расчета вегетационного индекса NDVI (участок Апанасовский)

THE REMOTE MONITORING OF ENVIRONMENTAL POLLUTION

O. L. Giniyatullina, V. P. Potapov

The question about using the earth remote - sensed data for the solution of geo-ecological monitoring of coal-mining areas problem is considered The algorithm of complex inspection of environment's state on satellite images is given. The practical application of remote monitoring to assess the impact of coal mining on natural objects is shown by the example of mining area of Kuzbass.

Key words: REMOTE MONITORING, EARTH REMOTE-SENSED DATA, GEO-ECOLOGICAL MONITORING , COAL OUTPUT

*Гиниятуллина Ольга Леоновна
e-mail: giniyatullina@ict.sbras.ru*

*Потапов Вадим Петрович
e-mail: potapov@ict.sbras.ru*

А. В. Ожогин

аспирант кафедры ХТЭМИ Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»

М. А. Ленский

канд. хим. наук, доцент, профессор кафедры «ТГВ ПАХТ» Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»

Е. А. Петров

д-р техн. наук, проф., начальник отдела ОАО «ФНПЦ «Алтай», заведующий кафедрой ХТЭМИ Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»

Ю. Ю. Свирина

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

Д. В. Корабельников

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

УДК 675

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБУСТРОЙСТВА ШАХТ

В статье описаны новые модификаторы стеклопластиков на основе эпоксидного связующего, которые относятся к термостойким борсодержащим полимерам. В ходе проделанной работы установлено, что введение модификаторов увеличивает прочность стеклопластика на 11–13 %, что обуславливает необходимость дальнейших исследований модифицированных композиций на термостойкость, коэффициент дымообразования и т. д.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (госконтракт № 8742р/13987 от 02.12.2010 г.).

Ключевые слова: СТЕКЛОПЛАСТИК, МОДИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА, ИСПЫТАНИЯ, УВЕЛИЧЕНИЕ, ПРОЧНОСТЬ

Эффективной заменой традиционных материалов, применяемых в горнодобывающей промышленности для обустройства шахт, является стеклопластик, по прочности не уступающий стали, но имеющий в 4 раза меньший вес и высокую коррозионную стойкость. Благодаря таким свойствам, снижаются трудозатраты и травматизм при монтаже воздухопроводов и водопроводов, увеличивается срок их эксплуатации; упрощается установка анкеров крепей шахт, и полностью исключается возможность фрикционного искрения, что также сказывается на повышении безопасности работ.

Основными факторами, затрудняющими применение стеклопластика в шахтах, являются его низкая теплостойкость и горючесть. Для

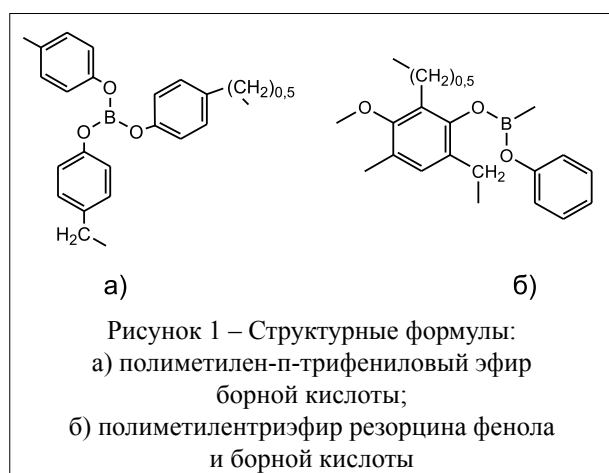
устранения таких недостатков применяются галогенсодержащие добавки [1–3], которые значительно снижают горючесть материала, но повышают токсичность продуктов горения. Также известны стеклопластики на основе элементарно-органических [4] и неорганических связующих [5]. Как правило, они обладают худшими (по сравнению с эпоксидными связующими) конструктивными свойствами, а именно меньшей прочностью, деформацией и т. д. Поэтому остается актуальной проблема поиска добавки, которая увеличит теплостойкость, снизит горючесть и не вызовет при этом падения прочности стеклопластика.

В последние годы все больше внимания уделяется термостойким борсодержащим полимерам: полиэфирам и полиметиленаэфирам

фенолов и борной кислоты [6]. Данные проведенных исследований показали, что наиболее термостойкими являются полиметилен-п-трифениловый эфир борной кислоты (ПТФЭБК) и полиметилентриэфир резорцина фенола и борной кислоты (ПТЭРФБК) (рис. 1), так как при термодеструкции от 300 до 600 °С степень превращения составила 2,94 и 17,50 % соответственно. Кроме того, при термоокислении свыше 600 °С остаточная масса для данных полимеров составляет 40 % [7]. Следует отметить, что компонентами синтеза данных полимеров служат дешевые соединения, которые производятся в промышленных масштабах, а сам процесс относительно прост и не требует сложного оборудования, что обуславливает их низкую (по отношению к другим элементарноорганическим соединениям) стоимость.

Эффективность применения полиметилен-п-трифенилового эфира борной кислоты в качестве модификатора полимерных композиционных материалов, увеличивающего эксплуатационные характеристики, в том числе термостойкость, показана во многих работах [8–11].

Нами проведено исследование по модификации связующего ЭДИ (смола ЭД-20 – 56,7 %, ИМТГФА – 42,5 %, ускоритель УП 606/2 – 0,8 %) и получению стеклопластиков на его основе. Были получены лабораторные образцы однонаправленного стеклопластика с содержанием модификаторов от 1 до 5 %, которые прошли испытания на разрывной машине Shimadzu AG-X по ГОСТ 25.604-82. Оценку влияния модификатора проводили по изменению прочности на трехточечный изгиб. Зависимости предела прочности образцов от концентрации модифика-



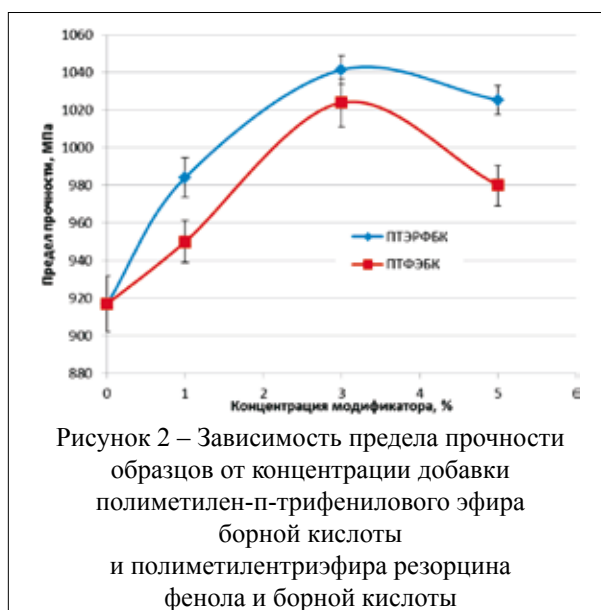
торов представлены на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что при введении добавок термостойких борсодержащих полимеров не происходит снижения прочности образцов, а напротив, увеличение прочности составляет 11 % (ПТФЭБК) и 13 % (ПТЭРФБК) по отношению к немодифицированной композиции.

На наш взгляд, модифицирующий эффект обусловлен изменением адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз «связующее–наполнитель» [4], при этом неорганическая часть молекулы полимера (атома бора) взаимодействует с поверхностью стеклоровинга, а органическая – с компонентами связующего. Как и в случае применения в качестве модификаторов кремнийорганических мономеров [12], при увеличении концентрации усиливается роль модификатора как связующего и прочность снижается.

Следует отметить высокую технологичность модификаторов: они хорошо совмещаются со связующим, не происходит расслоений и выпадения осадка, а также резкого увеличения вязкости и снижения времени живучести.

Проведенные исследования показали перспективность дальнейших исследований влияния полиметилен-п-трифенилового эфира борной кислоты и полиметилентриэфира резорцина фенола и борной кислоты на термостойкость стеклопластиков, применяемых в горнодобывающей промышленности.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пинкас, М. В. Физическая модификация эпоксидных компаундов с целью улучшения эксплуатационных свойств / М. В. Пинкас, Е. В. Плакунова, Л. Г. Панова // Пластические массы. – 2008. – № 1. – С. 11–13.
2. Идрисова, С. Ш. Модификация эпоксидной смолы полихлорированными бензимидазолами / С. Ш. Идрисова // Пластические массы. – 2008. – № 5. – С. 12–13.
3. Салахов, М. С. Огнестойкие эпоксидные композиции / М. С. Салахов, В. С. Умаева, А. И. Алиханова // Пластические массы. – 2008. – № 7. – С. 12–13.
4. Андреевская, Г. Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики / Г. Д. Андреевская. – М.: Наука, 1966. – 367 с.
5. Кириллов, В. Н. Пожаробезопасные строительные пластики / В. Н. Кириллов, Б. Ф. Пронин // Строительные материалы. – 1992. – № 6. – С. 2–3.
6. Ленский, М. А. Полиэфиры и полиметиленаэфиры борной кислоты – синтез, структура, свойства, применение : автореф. дис. ... канд. хим. наук : защищена 02.00.06. 2007 / Ленский М. А. – 20 с.
7. Корнева, О. В. Прикладные аспекты химической технологии полимерных материалов и наносистем / О. В. Корнева, М. А. Ленский, Д. И. Дементьева // Исследование термостойкости полиметиленаэфиров фенолов и борной кислоты. – Бийск, 2010. – С. 77–79.
8. Андрощук, А. А. Повышение прочностных характеристик полимерных композиционных материалов модификацией борсодержащими полиэфирами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : защищена 05.17.06 / Андрощук Андрей Алексеевич, 2009. – 23 с.
9. Туисов, А. Г. Повышение прочности стеклопластиков конструкционного назначения модификацией эпоксиангидридного связующего добавкой борполимера : автореф. дис. ... канд. техн. наук : защищена 05.02.01 / Туисов Алексей Геннадьевич, 2009. – 19 с.
10. Чипизубова, М. С. Снижение горючести композиционных материалов конструкционного назначения на основе эпоксидного связующего добавками полиметилена-п-трифенилового эфира борной кислоты : автореф. дис. ... канд. техн. наук : защищена 05.02.01 / Чипизубова Марина Сергеевна, 2008. – 17 с.
11. Корабельников, Д. В. Повышение эксплуатационных характеристик полимерных фрикционных композиций добавками полиметилена-п-трифенилового эфира борной кислоты : автореф. дис. ... канд. техн. наук : защищена 05.02.01 / Корабельников Дмитрий Валерьевич, 2012. – 16 с.
12. Киселев, Б. А. Химия и практическое применение кремнийорганических соединений / Б. А. Киселев, Я. Д. Аврасин. № 4. – Л, 1958. – С. 36.

THE INCREASING OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF FIBERGLASS MATERIALS FOR ARRANGING MINES

A. V. Ozhogin, M. A. Lensky, E. A. Petrov, Y. Y. Svirina, D. V. Korabelnikov

In article new modifiers of fibreglasses on the basis of epoxy binding which refer to heat-resisting, boron-containing polymers are described. In the course of this work found that the addition of modifiers increases the strength of fiberglass by 11–13 % that causes need of further researches of the modified compositions on the thermal stability, smoking coefficient etc.

The work was supported by the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Science and Technology (Government contract №8742r/13987 from 02.12.2010).

Key words: FIBERGLASS, MODIFICATION, CHARACTERISTICS, TESTING, INCREASE, STRENGTH

*Ожогин Андрей Викторович
e-mail: andreiozh@rambler.ru*

*Ленский Максим Александрович
e-mail: lenskiy@bk.ru*

*Петров Евгений Анатольевич
e-mail: post@frpc.secna.ru*

*Свирина Юлия Юрьевна
e-mail: uusvirina@mail.ru*

*Корабельников Дмитрий Валерьевич
e-mail: korabelnikovDV@mail.ru*

А. В. Шадрин

д-р техн. наук, начальник научного управления ФГБОУ ВПО «КемГУ»

Ю. А. Бирёва

студентка ФГБОУ ВПО «КемГУ»

УДК 622.831.322

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИЭЛАЙЗИНГОВЫХ ФИЛЬТРОВ В ГОРНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Излагается методика расчета антиэлайзинговых активных фильтров нижних и верхних частот, необходимых для обеспечения качественной цифровой обработки сигналов датчиков, используемых в горной геофизике. Приводятся примеры расчетов параметров фильтров для реализации спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности угольных пластов, основанного на сравнении амплитуд низкочастотной и высокочастотной частей спектров акустического сигнала, прошедшего контролируемую зону горного массива и зарегистрированного электродинамическим геофоном типа СВ-20. Источником акустического сигнала является режущий орган работающего горного оборудования (комбайна, сверла и др.). Проверка правильности расчета параметров фильтров осуществлялась путем моделирования с помощью виртуальной лаборатории – программы Electronics Workbench.

Ключевые слова: ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ, АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРОГРАММА ELECTRONICS WORKBENCH, МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Акустические методы сегодня находят широкое применение в горной геофизике для контроля состояния горного массива [1]. Применение данных методов основано на том, что первичные параметры, такие как напряженное состояние, трещиноватость, обводненность, наличие в массиве крупных дизъюнктивных нарушений, пльвунов, определяющие устойчивость горного массива – функционально связаны с параметрами акустических волн, распространяющихся по контролируемому участку горного массива (затуханием, скоростью распространения, появлением отраженных волн от границ раздела с разными акустическими импедансами и др.). Подобная связь позволяет заменить трудоемкие и продолжительные «прямые» методы измерения первичных параметров на неразрушающие акустические, и разрабатывать методы автоматизированного мониторинга состояния горного массива [2].

Автоматизация измерения параметров предполагает использование цифровых методов обработки информации. Для этого аналоговый сигнал с акустических датчиков должен быть оцифрован с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП).

Датчики акустических сигналов имеют ра-

бочий диапазон частот, зависящий от его конструкции. Так, электродинамические преобразователи типа СВ-20, СВ-30 и им подобные имеют собственный резонанс в области низких частот (10-30 Гц). Для исключения его влияния можно сигнал с датчика подать на фильтр верхних частот, частота среза которого лежит выше частоты собственного резонанса датчика.

Пьезоэлектрические датчики имеют очень широкий рабочий диапазон частот. Поэтому они могут воспроизводить сигналы и на частотах, лежащих значительно выше принятого к обработке диапазона.

Известно, что для корректного аналого-цифрового преобразования спектр сигнала, подаваемого на вход АЦП, должен соответствовать спектру сигнала, используемому далее в алгоритме обработки информации микропроцессором. При этом в соответствии с теоремой отсчетов Котельникова частота дискретизации должна не менее чем в два раза превышать верхнюю частоту обрабатываемого сигнала. Если же входной сигнал содержит частоты, превышающие половину частоты дискретизации, то в процессе оцифровывания произойдет (так называемый эффект) наложения спектров, в результате которого преобразование аналогового сигнала в

цифровой осуществится неадекватно [3]. Чтобы этого избежать, спектральные составляющие входного сигнала, частоты которых превышают половину частоты дискретизации, должны быть подавлены так называемым антиэлайзинговым фильтром, в данном случае нижних частот, установленным перед АЦП.

Таким образом, в методах контроля, основанных на спектральном анализе акустического сигнала (например, спектрально-акустическом методе прогноза выбросоопасности [4]), с целью исключения искажений сигнал до оцифровывания должен быть пропущен через фильтры нижних и верхних частот. В качестве таких фильтров удобно использовать активные RC-фильтры на базе операционных усилителей [3, 5].

К настоящему времени разработаны методики расчета таких фильтров. Оказалось, что для обеспечения расчетных значений амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтров требуется высокая точность подбора параметров R и C элементов. Так, для фильтров 5-го и более высокого порядка резисторы и конденсаторы должны быть не хуже чем с 2 %-ым допуском [9]. На практике, чтобы гарантировать требуемые параметры фильтра, резисторы и конденсаторы выбирают с 1 %-ым допуском [3].

Поскольку физическое макетирование электронных схем с целью анализа работоспособности (соответствия расчетным характеристикам) достаточно трудоемко, требует наличия различных электронных приборов и существует опасность поражения электрическим током, были разработаны виртуальные лаборатории – пакеты прикладных программ (ППП), позволяющие моделировать и анализировать электрические схемы. Для анализа спроектированных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтров нами использовался один из таких ППП - Electronics Workbench, который является редактором электронных схем и приложений для их симуляции [9].

Выполненные ранее исследования показали, что для реализации спектрально-акустического метода текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов необходимо осуществить выделение из спектра акустического сигнала, генерируемого работающим в забое горным оборудованием, низкочастотной и высокочастотной частей, протестировать их и разделить одну на другую [4, 8].

Для корректного выполнения операций фильтрации фильтры низких частот (ФНЧ) и

фильтры верхних частот (ФВЧ) должны иметь крутую характеристику в переходной частотной зоне и плоскую характеристику в зоне пропускания частот [4]. Этим требованиям удовлетворяет фильтр Баттерворта [3].

Опыт применения спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности показал, что в зависимости от горно-геологических условий залегания угольного пласта, его мощности, структуры и структуры вмещающих пород, а также их прочностных свойств изменяются условия распространения для различных спектральных составляющих акустического сигнала, генерируемого в угольный пласт работающим горным оборудованием. Поэтому в алгоритме определения показателя выбросоопасности необходимо предусмотреть возможность выбора для каждого пласта наиболее оптимальных частот среза ФНЧ и ФВЧ для реализации спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности. В связи с этим параметры Фильтра Баттерворта были нами рассчитаны для трех областей низких и трех областей высоких частот, которые, как показали многочисленные эксперименты, обеспечивают необходимую чувствительность метода для пластов любой структуры и мощности [8]. В частности, частоты среза для ФНЧ были выбраны соответственно равными 160 Гц, 200 Гц и 300 Гц; частоты среза для ФВЧ соответственно равны: 600 Гц, 800 Гц и 1000 Гц.

Параметры ФНЧ пояснены на рисунке 1. Здесь f_c – частота среза, f_s – частота задержки. Частота среза f_c определяет границу полосы пропускания (ПП) фильтра и в реальных фильтрах обычно соответствует уровню затухания

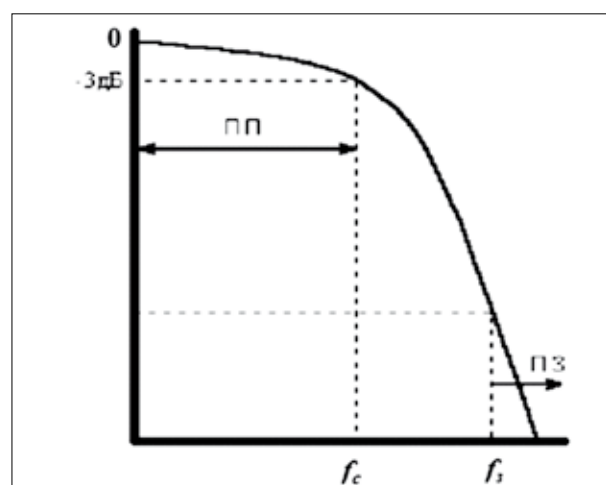


Рисунок 1 – АЧХ фильтра низких частот: f_c и f_s соответственно частота среза и частота задержания; ПП и ПЗ соответственно полоса пропускания и полоса задержания

3 дБ (рис. 1). Между ПП и полосой задержания (ПЗ) располагается переходная область. f_3 – это такая частота в этой зоне, для которой задается гарантированный уровень затухания спектральных составляющих сигнала.

Для того чтобы стандартизировать процесс расчета фильтров различного типа, разработана единая методика, в соответствии с которой первым этапом синтеза фильтра является нормирование исходных данных для его расчета.

Правило нормировки требует, чтобы все АЧХ ФНЧ пересекали уровень затухания 3 дБ на нормированной частоте $\omega = 1$ рад. Такой фильтр и его АЧХ называются нормированными к 1 рад. Поэтому общим элементом расчета любого фильтра является, в первую очередь, преобразование его исходных данных к виду, позволяющему воспользоваться нормированными АЧХ ФНЧ [6]. Для нормирования АЧХ к 1 рад задается крутизной характеристики фильтра A_s , которая определяется по следующей формуле:

$$A_s = \frac{f_c}{f_c} \quad (1)$$

Затем, по графикам нормированных кривых ФНЧ различного порядка, выбираем такой фильтр, который для рассчитанной A_s обеспечивал бы гарантированное затухание в ПЗ не менее заданного.

Задаемся затуханием в полосе задержания – не менее 30 дБ на октаву (октава – интервал частот, в котором верхняя частота в 2 раза больше нижней). В этом случае $A_s = 2$. Тогда для выбранных частот среза ФНЧ значения f_3 будут равны соответственно: 320 Гц, 400 Гц и 600 Гц.

Воспользовавшись графиком (рис. 2) [6], на котором представлено семейство нормированных характеристик затухания Y фильтров Баттерворта различного порядка, определили, что при $A_s = 2$ гарантированное затухание в полосе задержки более 30 дБ на октаву обеспечивает фильтр 5-го порядка (кривые затухания $Y = F(A_s)$ аппроксимированы прямыми линиями с погрешностью не более 5% [6]).

После того как определили порядок фильтра Баттерворта, необходимый порядок активного фильтра (АФ) может быть получен последовательным соединением типовых каскадов 2-го и 3-го порядка (рис. 3). Если порядок АФ n – четное число, то используется $n/2$ каскадов 2-го порядка. Если же n – нечетное число, то используется $(n-2)/2$ каскадов 2-го порядка и один каскад 3-го порядка.

Каждый отдельный каскад имеет единич-

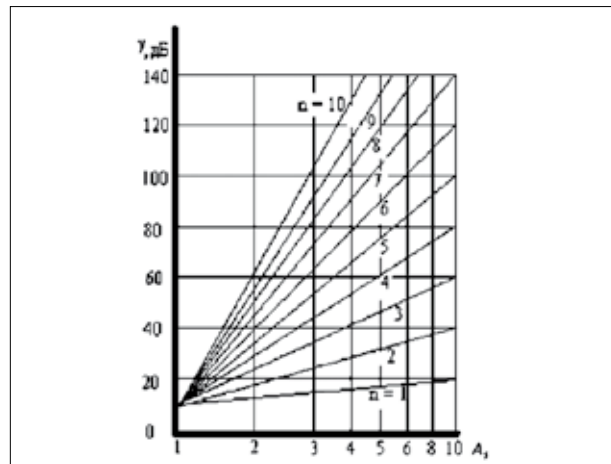


Рисунок 2 – Семейство нормированных кривых затухания фильтра Баттерворта от крутизны A_s для ФНЧ порядка n

ное усиление, а очень малое выходное сопротивление операционных усилителей позволяет осуществлять непосредственное соединение каскадов. Номиналы элементов схем активного фильтра Баттерворта представлены в таблице 1 [6].

Для реализации ФНЧ 5-го порядка состыковали один каскад 2-го порядка и один 3-го порядка (рис. 4). Значения емкости конденсаторов взяты из таблицы 1.

Величины сопротивлений источника сигнала (генератора) и нагрузки для искомого нормированного фильтра имеют очень малую величину – 1 Ом. На практике значения этих сопротивлений могут существенно отличаться от 1 Ом [6]. В то же время желательно уменьшить емкость конденсатора. В противном случае

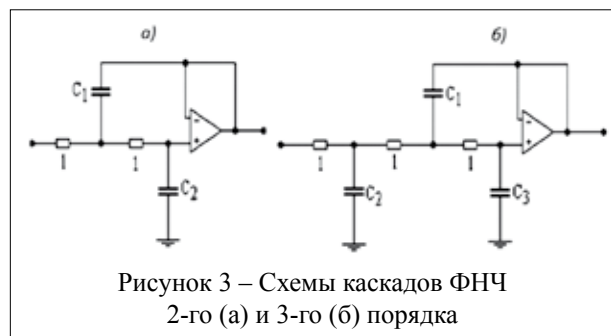


Рисунок 3 – Схемы каскадов ФНЧ 2-го (а) и 3-го (б) порядка

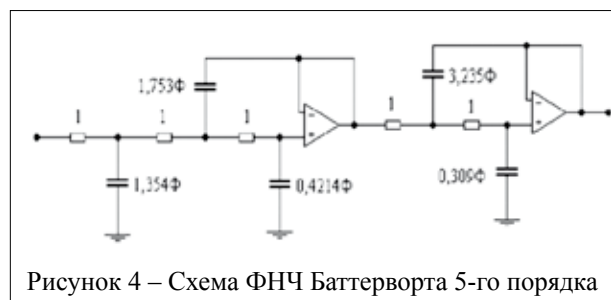


Рисунок 4 – Схема ФНЧ Баттерворта 5-го порядка

Таблица 1 – Параметры нормированных ФНЧ

Порядок фильтра n	C1	C2	C3	Порядок фильтра n	C1	C2	C3
ФНЧ Баттерворта							
2	1.4140	0.7071	-	8	1.0200	0.9808	-
3	3.5460	1.3920	0.2024		1.2020	0.8313	-
4	1.0820	0.9241	-		1.8000	0.5557	-
	2.6130	0.3825	-		5.1250	0,1950	-
5	1.7530	1.3540	0.4214	9	1,4550	1,3270	0.5170
	3.2350	0.3090	-		1,3050	0,7661	-
6	1.0350	0.9660	-		2,0000	0,5000	-
	1.4140	0.7071	-		5,7580	0,1736	-
7	3.8630	0.2588	-	10	1,0120	0,9874	-
	1.5310	1.3360	0.4885		1,1220	0,8908	-
	1.6040	0.6235	-		1,4140	0,7071	-
	4.4930	0.2225	-		2,2020	0,4540	-
					6,3900	0,1563	-

практическая реализация фильтра (рис. 4) будет затруднительна.

Выход из данного затруднения осуществляется с помощью операции, называемой масштабированием импеданса. Дело в том, что если полное сопротивление схемы фильтра увеличить в Z раз, то его АЧХ останется прежней. Для этого сопротивления резисторов умножаем на Z, а емкости конденсаторов с целью обеспечения столь же кратного увеличения их импеданса делим на ZK_r.

При расчете фильтров масштабирование по частоте и импедансу производится одновременно с помощью соотношений:

$$\left. \begin{aligned} R_M &= ZR; \\ K_f &= 2\pi f_c; \\ C_M &= \frac{1}{ZK_f} C, \end{aligned} \right\} (2)$$

где Z, K_f и C_M – соответственно масштабные множители по импедансу, частоте и емкости, обеспечивающие «перенос» АЧХ из нормированной области в необходимый диапазон. После пересчета номиналов элементов схемы в соответствии с выражением (2), в котором выбрали Z = 104, f_c = 160 Гц, получили следующую схему (рис. 5).

После проведенных расчетов данная схема была смоделирована с помощью ППП Electronics Workbench и сняты АЧХ для указанных выше трех областей низких частот (и, соответственно, трех наборов значений конденсато-

ров). Результаты отображены на рисунке 6.

Параметры ФВЧ можно получить, зная параметры ФНЧ того же порядка и имеющего ту же частоту среза что и ФНЧ, с помощью известных соотношений. Процедура преобразования следующая [6]. Каждый резистор сопротивлением R [Ом] заменяется конденсатором емкостью 1/R [Ф], а каждый конденсатор емкостью C [Ф] – резистором сопротивлением 1/C [Ом]. В остальном же алгоритм расчета ФВЧ не отличается от алгоритма расчета ФНЧ.



Рисунок 5 – Схема масштабированного по частоте и импедансу ФНЧ 5-го порядка

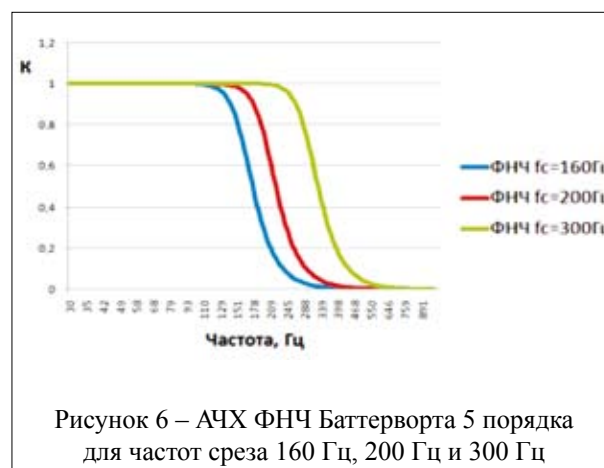


Рисунок 6 – АЧХ ФНЧ Баттерворта 5 порядка для частот среза 160 Гц, 200 Гц и 300 Гц

Для нашего случая выбираем следующие три группы параметров для расчета ФВЧ с затуханием не менее 30 дБ на октаву:

1. $f_c = 600$ Гц, $f_3 = 300$ Гц;
2. $f_c = 800$ Гц, $f_3 = 400$ Гц;
3. $f_c = 1000$ Гц, $f_3 = 500$ Гц.

Схема ФВЧ Баттерворта выглядит следующим образом (рис. 7).

Приведенная схема ФВЧ также была смоделирована с помощью ППП Electronics Workbench и сняты АЧХ для указанных выше

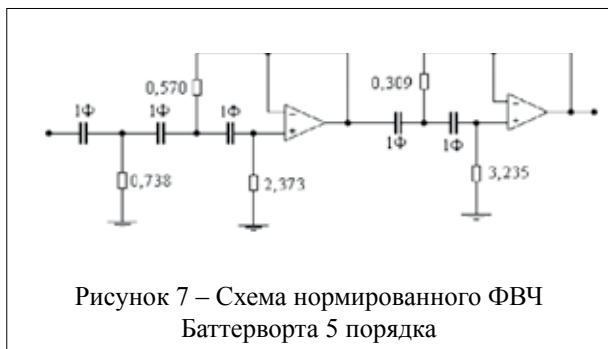


Рисунок 7 – Схема нормированного ФВЧ Баттерворта 5 порядка

трех областей высоких частот (рис. 8).

Описанная методика расчета антиэлайзинговых ФНЧ и ФВЧ и проверки их работоспособности с помощью виртуальной лаборатории Electronics Workbench могут использоваться для реализации любых геофизических методов с целью недопущения эффекта наложения спектра в процессе аналого-цифрового преобразования сигнала.

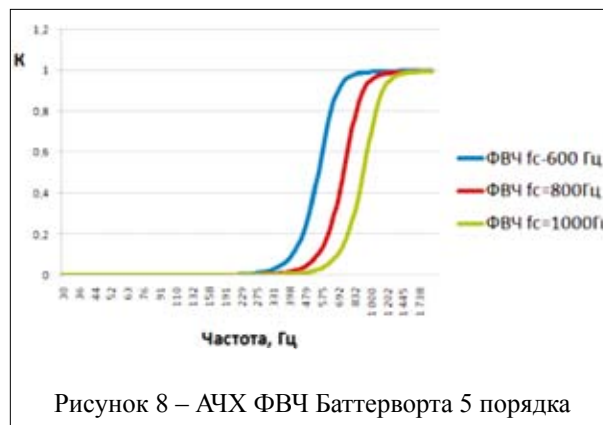


Рисунок 8 – АЧХ ФВЧ Баттерворта 5 порядка

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глушко, В.Т. Геофизический контроль в угольных шахтах. / В. Т. Глушко, В. С. Ямщиков, А. А. Яланский. К: «Наук. Думка». – 1978. – 224 с.
2. Шадрин, А. В. Автоматизированный мониторинг противовыбросных мероприятий при разработке угольных пластов: дис. д-ра техн. наук: 25.00.20 / Александр Васильевич Шадрин; Кузбасский гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2004. – 356 л.
3. Смит, Стивен. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников / Стивен Смит; пер. с англ. А. Ю. Лисовича, С. В. Витязева, И. С. Гусинского. – М.: Додэка-XXI, – 2012, – 720 с.
4. Шадрин, А.В. Акустический двухчастотный метод контроля напряженного состояния горного массива / А. В. Шадрин, М. В. Дегтярева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – №1.2. – С.55-59.
5. Мошиц, Г. Проектирование активных фильтров / Г. Мошиц, П. Хорн, пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 320 с.
6. Ефимов, И.П. Проектирование электронных фильтров. Ульяновск: Изд-во Ульяновского государственного технического университета. – 1999. – 33с.
7. Шадрин, А.В. Факторы, определяющие развитие трещин в угольных пластах / А.В. Шадрин, М.В. Дегтярева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – №1.1. – С.127-132.
8. Мирер, С.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов / С.В.Мирер, О.И. Хмара, А.В. Шадрин. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. - 92 с.
9. Панфилов, Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: в 2 т./Под общей ред. Д.И. Панфилова – Т.1: Электротехника/ Д.И. Панфилов, В.С. Иванов, И.Н. Чекурин. – М.: ДОДЭКА, 1999. – 304 с.

APPLICATION OF ANTI-ALIASING
FILTERS IN MINING GEOPHYSICS

A.V. Shadrin, Yu.A. Bireva

Calculation of anti-aliasing active filters of lower and tremble frequencies method, necessary for ensuring high-quality digital processing of sensors signals, used in mining geophysics is described. Examples of calculations of filters parameters for a spectral-acoustic method of the forecast the coal layers outburst hazard, based on comparison of low-frequency and high-frequency parts of ranges of the acoustic signal amplitudes, passed a controlled zone of a massif and registered by an electro-dynamics geophone of the SV-20 type are given. The sources of an acoustic signal are the cutting units of the working mining equipment (the combine, a drill, etc.). The validity check of parameters of filters calculation was implemented by modeling with virtual laboratory – the Electronics Workbench software tool.

Key words: DIGITAL SIGNAL PROCESSING, CALCULATION OF PARAMETERS OF ACTIVE FILTERS, AMPLITUDE-FREQUENCY RESPONSE, ELECTRONICS WORKBENCH SOFTWARE TOOL, MODELING ELECTRONIC CIRCUITRY

Шадрин Александр Васильевич
e-mail: science@kemsu.ru

Бирева Юлия Алексеевна
e-mail: juliabireva@mail.com

Е. А. Петров

д-р техн. наук, проф., начальник отдела ОАО «ФНПЦ «Алтай», заведующий кафедрой ХТЭМИ
Бийского технологического института ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»

П. И. Савин

инженер II категории ОАО «ФНПЦ «Алтай»

УДК 622.235.2

ВЛИЯНИЕ МОЧЕВИНЫ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В СУЛЬФИДНЫХ СРЕДАХ

Была исследована термическая стабильность аммонита и гранэмита, содержащих в составе мочевины в смеси с пиритом. Показано, что эмульсионные взрывчатые вещества более стабильны в смеси с пиритом, чем аммониты. Введение в состав мочевины повышает химическую стабильность аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в сульфидных средах.

Ключевые слова: АММОНИТ, ПИРИТ, ГРАНЭМИТ, МОЧЕВИНА, ТЕМПЕРАТУРА РАЗЛОЖЕНИЯ, СТАБИЛЬНОСТЬ

При добыче сульфидсодержащих руд известны случаи самопроизвольных взрывов зарядов в скважинах, заряженных взрывчатыми веществами (ВВ) на основе аммиачной селитры. Причиной тому является химическое взаимодействие аммиачной селитры с мелкодисперсной пылью сульфидов и самородной серой в сильноокислой среде, в результате которого выделяется тепло, достаточное для образования локальных точек разогрева и инициирования деструкции системы по механизму теплового взрыва. Для борьбы с данным явлением в составы аммиачно-селитренных ВВ добавляют различные ингибиторы химической стойкости, такие как мочевина, мел уротропин [1, 2].

В данной работе исследовалось влияние мочевины на термическую стабильность аммо-

нита 79/21 и эмульсионного ВВ типа гранэмита (25 % аммиачной селитры, 75 % эмульсионной матрицы «порэмит») в смеси с пиритом.

Образцы ВВ с мочевиной смешивались с пиритом в соотношении 80/20 % соответственно. Для обеспечения однородности смеси образцы перед исследованием тщательно измельчались в фарфоровой ступке. Термическая стабильность оценивалась термогравиметрическим анализом на термоанализаторе DTG-60 фирмы «SHUMADZU» в условиях линейного нагрева со скоростью 10 град/мин. в интервале температур от комнатной до 500 °С.

Результаты исследований аммонита, гранэмита как исходных, так и с добавками мочевины приведены на рисунках 1–4 и суммированы в таблице 1. На кривой потеря массы (DGA) аммо-

Таблица 1 – Результаты термогравиметрического анализа аммонитов и гранэмитов

Экспериментальные составы, %				Температура начала потери массы, °С	Тепловой эффект реакции, кДж/г	T _{max} °С реакции
Гранэмит	Аммонит	Пирит	Карбамид (сверх 100 %)			
–	100	–	–	156	- 4,39	241
–	80	20	–	128	+ 4,21	184
–	80	20	1	142	+ 4,05	188
–	80	20	5	158	+ 1,31	204
100	–	–	–	176	- 6,67	251
80	–	20	–	178	- 0,92	195
80	–	20	1	194	- 1,42	240

нита (рис. 1) начинается при 156 °С и заканчивается при 250 °С. Потеря массы сопровождается суммарным эндоэффектом на кривой тепловых эффектов (ДТА) с максимумом температуры разложения (Tmax) при 240 °С. При добавлении пирита (рис. 2) снижается температура начала потери массы, а разложение ВВ сопровождается экзотермическим эффектом с максимумом при температуре 184 °С. Последнее свидетельствует о том, что аммонит не устойчив в среде пирита, а взаимодействие протекает с выделением тепла. При введении в состав мочевины повышаются устойчивость аммонита (рис. 3), температура начала потери массы аммонита и Tmax реакции

разложения, а тепловой эффект реакции снижается. Однако при добавлении даже 5 % мочевины в реакционную смесь (рис. 4) суммарный тепловой эффект реакции положительный.

Исследования гранэмита в этих условиях показало, что в присутствии пирита потеря массы начинается при 178 °С и заканчивается при 250 °С. На кривой DTA наблюдается небольшой экзотермический пик при 195 °С и эндотермический – при 240 °С. Суммарный тепловой эффект, составивший -0,92 кДж/г, свидетельствует о большей устойчивости эмульсионных ВВ в сравнении с аммонитами. Однако взаимодей-

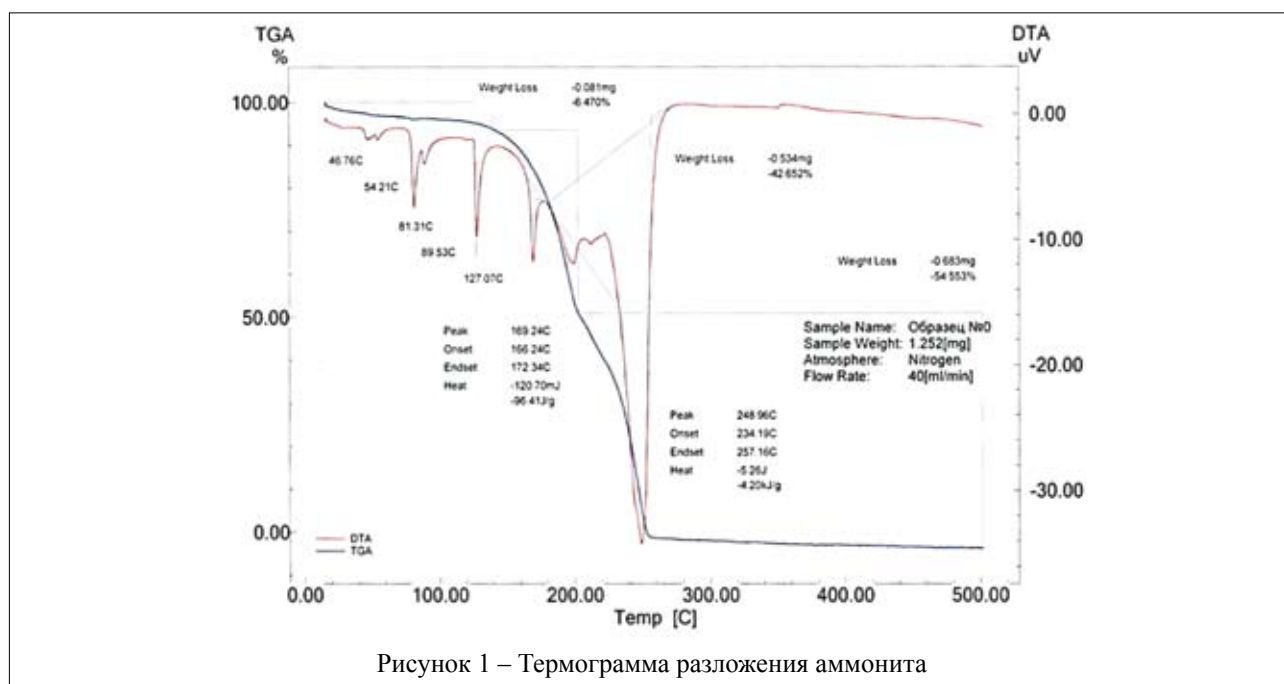


Рисунок 1 – Термограмма разложения аммонита

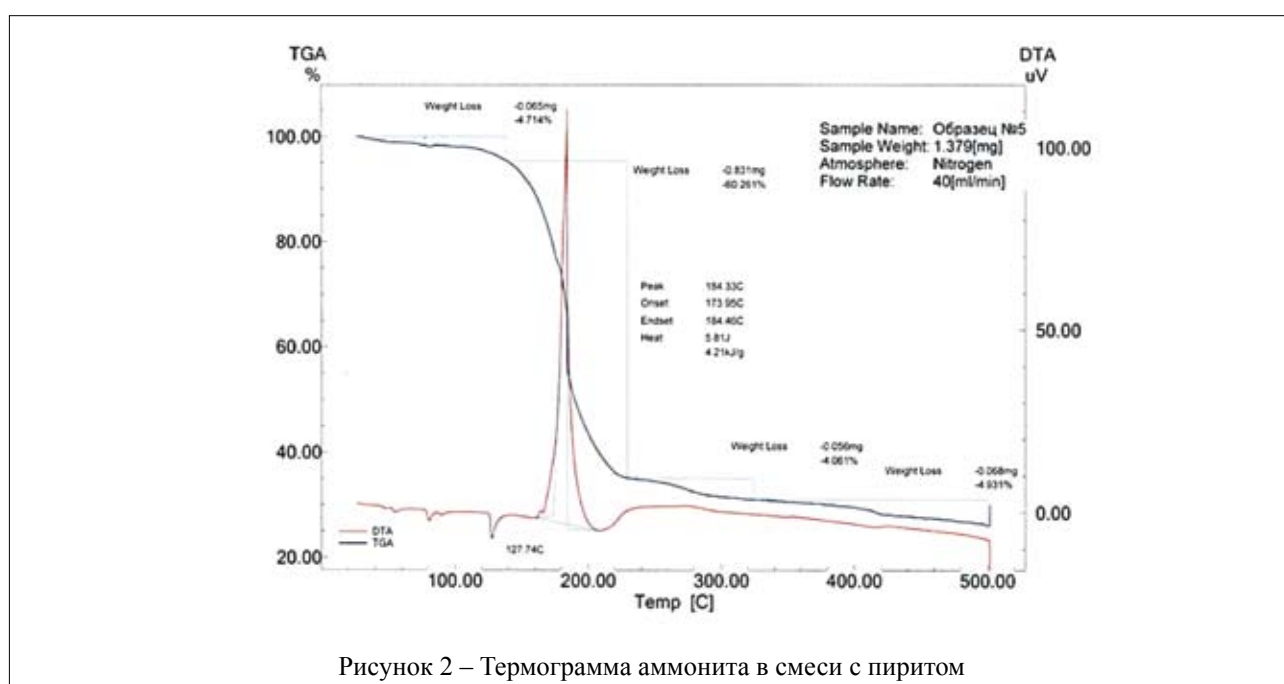


Рисунок 2 – Термограмма аммонита в смеси с пиритом

ствии компонентов с пиритом происходит. При добавлении в гранэмит мочевины в количестве 1 % реакция способность смеси понижается, так как повышается температура начала потери массы и T_{max} реакции, а также увеличивается суммарный эндозффект реакции (см. табл. 1). Сравнение полученных результатов с реакционной способностью исходного гранэ-

мита показывает взаимодействие компонентов с пиритом и в этом случае, но со значительно меньшей скоростью.

Таким образом, доказано, что эмульсионные ВВ более стабильны в сульфидных средах, чем аммониты. Введение в состав мочевины повышает химическую стабильность аммонитов и эмульсионных ВВ.

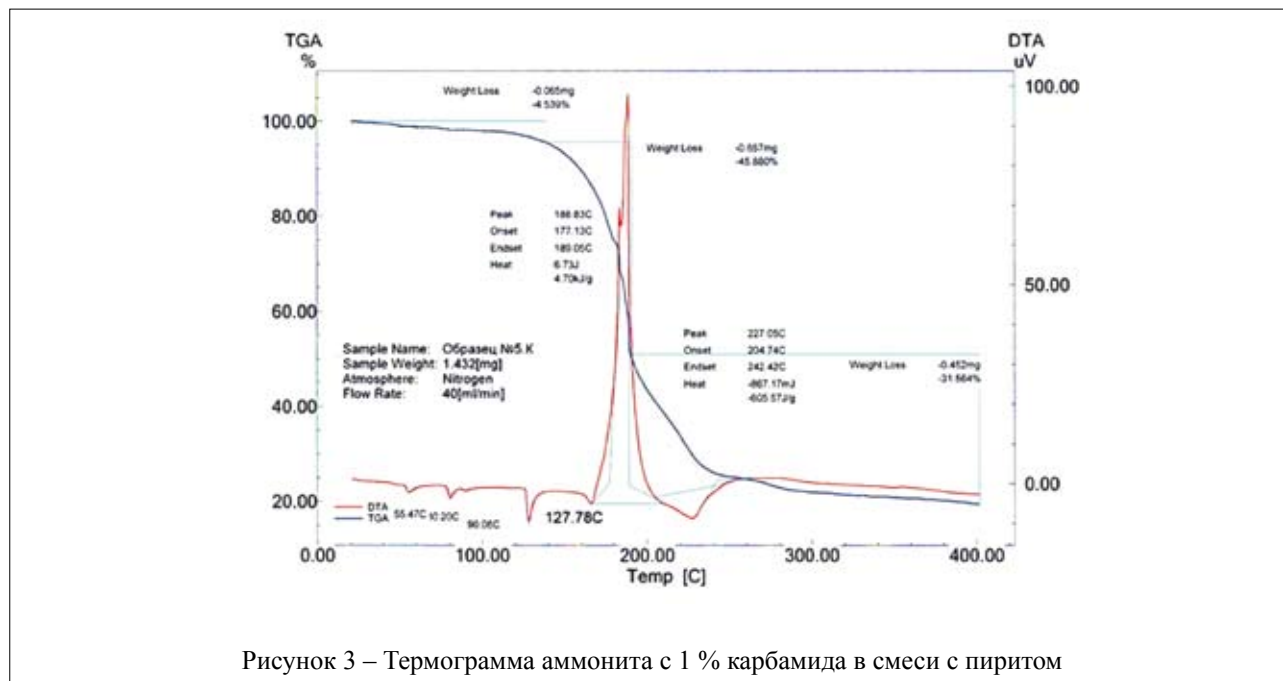


Рисунок 3 – Термограмма аммонита с 1 % карбамида в смеси с пиритом

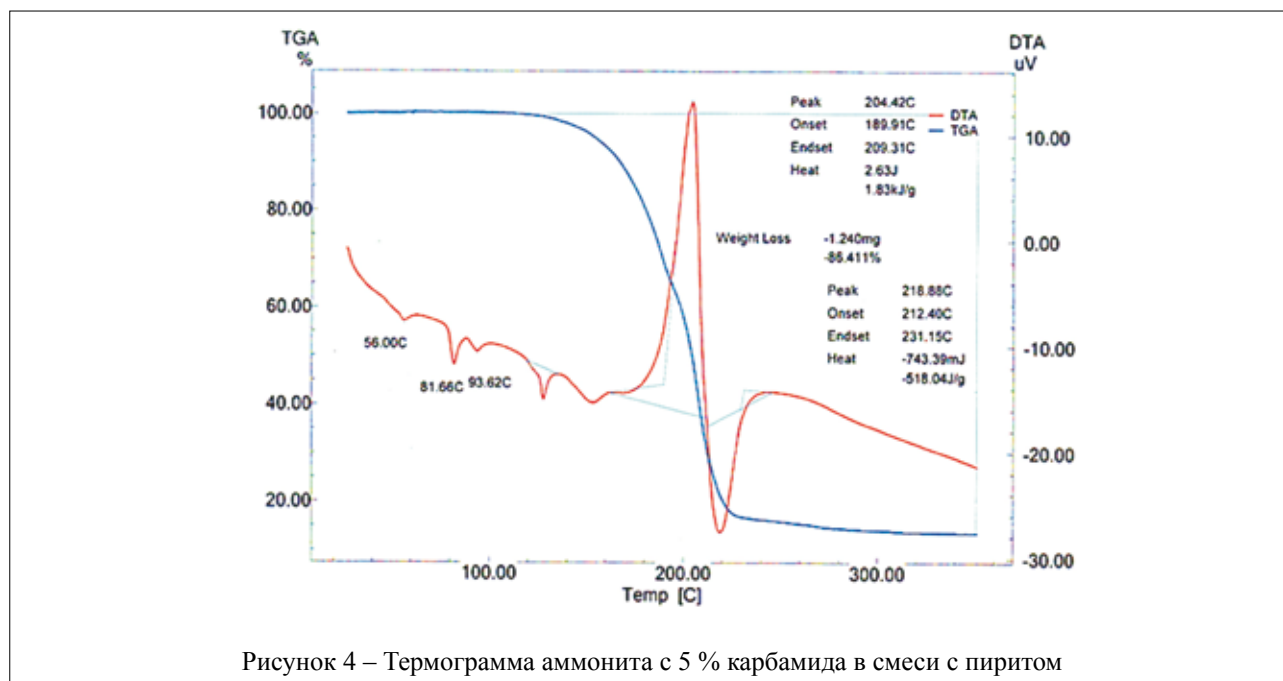


Рисунок 4 – Термограмма аммонита с 5 % карбамида в смеси с пиритом

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коваленко, И. Л. Взаимодействие эмульсионных взрывчатых веществ и их компонентов с сульфидными минералами / И. Л. Коваленко, В. П. Куприн // Взрывное дело. – 2010. – № 103/60. – С. 154–159.
2. Колинчев, А. Ю. Промышленные взрывчатые вещества на основе тринитротолуола и амми-

ачной селитры, применяемые при разработке сульфидных руд / А. Ю. Колинчев, И. Л. Воронов, Ю. Г. Щукин // Взрывное дело. – 2009. – № 102/59. – С. 175–180.

EFFECT OF UREA ON THE THERMAL STABILITY OF AMMONIUM NITRATE EXPLOSIVE IN SULPHIDIC ENVIRONMENTS

E. A. Petrov, P. I. Savin

Thermal stability of ammonite and granemite containing urea in mix with pyrites in the structure was investigated. It is shown that emulsion explosives are stabler in mix with pyrites, than ammonites. Incorporation into urea composition increase chemical stability of ammonium nitrate explosive in sulphidic environments.

Key words: AMMONITE, PYRITE, GRANEMITE, UREA, BREAKING TEMPERATURE, STABILITY

Петров Евгений Анатольевич

e-mail: post@frpc.secna.ru

Савин Павел Иванович

e-mail: post@frpc.secna.ru

В. П. Потапов

д-р техн. наук, директор Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

Е. Л. Счастливец

д-р техн. наук, заведующий кафедрой Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

О. Л. Гиниятуллина

канд. техн. наук, научный сотрудник Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

И. Е. Харлампенков

ведущий специалист Института вычислительных технологий СО РАН (Кемеровского филиала)

В. П. Баскаков

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

И. А. Реутов

генеральный директор ООО «СибЭнергоУголь»

М. А. Попова

главный специалист по экологии ООО ХК «СДС-Уголь»

Н. В. Шитушкина

главный специалист по экологии ООО «СибЭнергоУголь»

УДК 522.88

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Рассматриваются современная организация информационных потоков и взаимодействие модельных комплексов с данными дистанционного зондирования земли в информационно-вычислительной системе для динамического мониторинга, оценки и прогноза состояния природной среды в районах интенсивной добычи угля.

Ключевые слова: ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, МОДЕЛИ, БАЗЫ ДАННЫХ, МОНИТОРИНГ, ПРИРОДНАЯ СРЕДА, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Влияние угольной промышленности на экологию носит многоплановый, длительный и комплексный характер. Комплекс работ по добыче угля вызывает геомеханические, гидрологические, химические, физико-механические и термические изменения.

В настоящее время воздействие горного производства на окружающую среду вышло далеко за пределы горных (земельных) отводов предприятий, что превращает локальную экологическую проблему угледобывающего или углеперерабатывающего предприятия в региональную геоэкологическую [1].

В связи с этим значительный интерес пред-

ставляет оценка воздействия на окружающую природную среду не только отдельного объекта горного производства, но и всего комплекса производств, расположенных в данном районе [2] за счет системы наземного и дистанционного мониторинга.

Действующая система мониторинга угольной промышленности Кузбасса в целом практически не использует современных подходов к мониторингу природных сред, направлена на контроль ряда экологических параметров точечного характера и не позволяет обеспечить пространственного представления оценки и прогноза геоэкологического состояния угледобы-

вающих районов. В работе освещены некоторые основные вопросы создания нового методологического аппарата мониторинга, оценки и прогноза геоэкологической ситуации на базе современных информационных технологий и модельных комплексов.

Общепризнано, что зоной воздействия техногенного объекта является территория вокруг промышленного предприятия, в пределах которой распространяется его влияние на окружающую среду, что выражается в ухудшении состояния воздушной, водной и геологической среды (загрязнение, нарушение баланса вод, естественного ландшафта и т. д.) [3].

Каждый вид воздействия по степени амплитуды отклонений от нормы оценивается как сильный, умеренный или слабый, по периодичности – кратковременный, периодический, долговременный. Относительно географических масштабов происходит разделение на локальные, региональные и глобальные виды воздействия.

Нарушенные территории расположены в различных геоморфологических условиях и могут по-разному влиять на окружающие естественные ландшафты, а влияние может распространяться на разные расстояния. Поэтому в настоящей работе рассмотрены вопросы информационного обеспечения динамического мониторинга и оценки, различных техногенно нарушенных территорий на участки с ненарушенными экосистемами, по-разному сопряженные между собой.

Разработана интегрированная инфор-

мационно-вычислительная система для динамической оценки экологического состояния угледобывающего района (далее – система), в составе которой (рис. 1):

1. Облачный сервис (Google App Engine).
2. Сервис аутентификации (Google Users API).
3. Картографический сервис (Google Map API, Веб-сервер Apache).
4. Сервис баз данных (MySQL, PostgreSQL).
5. Расчетные сервисы (Java-сервлеты).

Облачный сервис представляет собой особую клиент-серверную технологию – использование клиентом ресурсов (процессорное время, оперативная память, дисковое пространство, сетевые каналы, специализированные контроллеры, программное обеспечение и т. д.) группы серверов в сети, взаимодействующих таким образом, что:

- для клиента вся группа выглядит как единый виртуальный сервер;
- клиент может прозрачно и с высокой гибкостью менять объемы потребляемых ресурсов в случае изменения своих потребностей (увеличивать/уменьшать мощность сервера с соответствующим изменением оплаты за него).

При этом наличие нескольких источников используемых ресурсов, с одной стороны, позволяет повышать доступность системы клиент-сервер за счет возможности масштабирования



при повышении нагрузки (увеличение количества используемых источников данного ресурса пропорционально увеличению потребности в нем и/или перенос работающего виртуального сервера на более мощный источник, «живая миграция»). С другой – снижает риск неработоспособности виртуального сервера в случае выхода из строя какого-либо из серверов, входящих в группу, обслуживающую данного клиента, так как возможно автоматическое переключении виртуального сервера к ресурсам резервного.

Технологическим ядром системы служит среда Google App Engine, позволяющая создавать веб-приложения с помощью стандартных технологий Java и выполнять их на масштабируемой инфраструктуре Google. Среда Java представляет виртуальную машину Java 6 (JVM), интерфейс Java-сервлетов и поддержку стандартных интерфейсов для масштабируемого хранилища данных и служб App Engine, таких как JDO, JPA, JavaMail и JCache. Поддержка стандартов упрощает разработку приложения и делает понятным портирование приложения как из собственной среды сервлетов, так и в нее.

В качестве средств разработки используется свободно распространяемое ПО – плагин Google для Eclipse, который добавляет в Eclipse IDE для проектов App Engine новые мастера проектов и конфигурации отладки. Благодаря Google Web Toolkit (GWT) App Engine для Java существенно упрощает разработку и развертывание веб-приложений международного уровня. Плагин Eclipse связан с App Engine и SDK GWT. App Engine выполняет приложения Java с помощью виртуальной машины Java 6 (JVM). SDK App Engine поддерживает Java 5 или более поздние версии. JVM Java 6 также может использовать классы, скомпилированные с помощью компилятора любой версии до Java 6. App Engine использует для веб-приложений стандарт Java Servlet, который является связующим звеном всех компонентов системы. В стандартной структуре каталогов WAR представляет классы сервлетов, приложения, страницы JavaServer (JSP), статические файлы и файлы данных вместе с дескриптором развертывания (файл web.xml) и другими файлами конфигурации. App Engine выполняет запросы, вызывая сервлеты в соответствии с дескриптором развертывания. JVM работает в защищенной среде, что позволяет изолировать приложение в целях обслуживания и безопасности. Среда позволяет удостовериться, что приложения могут выполнять только действия, не влияющие на производительность и масштабируемость других приложений.

Сервисом аутентификации предоставляется безопасный доступ к конфиденциальной информации, который обеспечивается за счет средств Google Users API. Платформа Google App Engine имеет тесную интеграцию с аккаунтами Google: приложения позволяют пользователям авторизоваться с помощью их существующих google аккаунтов, помогая быстрее приступить к работе с приложением, не регистрируясь еще раз специально на сайте, а разработчик получает возможность персонализировать приложение. Приложения App Engine может перенаправить пользователя на страницу входа и регистрации или позволить ему выйти из аккаунта. После того, как пользователь проходит авторизацию, приложение может получить доступ к адресу его электронной почты и указанному псевдониму. Также есть возможность определить, является ли пользователь администратором приложения, имеет ли доступ в ограниченные разделы сайта, что позволит создать систему управления сайтом. Вид сервиса входа в систему представлен на рисунке 2.

Картографический сервис, предоставляющий возможность визуализировать предметную информацию на картах-подложках, включая Google, программно разделен на две части: публичную и закрытую. В публичном доступе используется технология Google Maps API, предоставляющая открытый интерфейс функций по работе с картами Google. Данный функционал используется для картографических расчетов и координатной привязки закрытой информации как из данного сервиса, так и из сервисов баз данных и расчетных сервисов. Технология позволяет связать карты Google с конкретным веб-сайтом посредством уникального API-ключа. Объекты прикладного интерфейса содержат методы для подгрузки сторонних карт в формате KML/KMZ. Хостинг KML/KMZ-ресурсов расположен на веб-сервере Apache.

В системе разработаны и представлены следующие тематические карты:

- мониторинга поверхностных вод;
- мониторинга подземных вод;
- мониторинга снегового покрова;
- типов почв (рис. 3);
- типов ландшафтов (совмещенная с растительным покровом (рис. 4);
- нарушенных земель;
- редких и исчезающих видов растительности.

Сервис баз данных полностью базируется

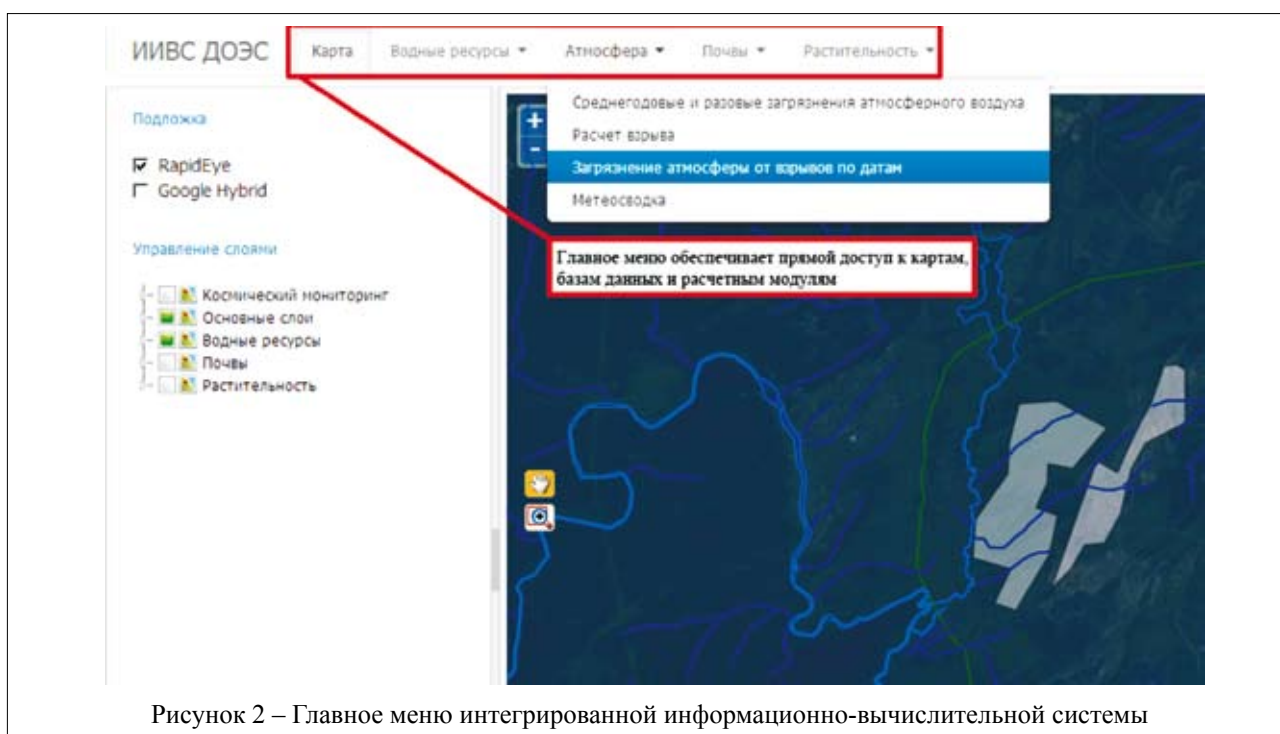


Рисунок 2 – Главное меню интегрированной информационно-вычислительной системы



Рисунок 3 – Карта-схема почв

на компонентной модели используемых СУБД. Открытый продукт MySQL предназначен для хранения текстовой информации, в том числе и расчетной, и доступа к ней, а PostgreSQL с поддержкой объектной модели PostGIS – картографической информации.

В системе представлены базы данных:

- почвенного покрова (рис. 5);
- растительного покрова;
- водных ресурсов;
- объектов выбросов загрязняющих ве-

ществ в атмосферу.

Расчетные сервисы содержат программную логику математических моделей предметной области, реализованной на базе технологий RPC, и разрабатываются в виде Java-сервлетов, что позволяет интегрировать их с любым из описанных выше сервисов системы [4] (рис. 6).

В настоящей системе реализованы модели оценки выбросов и распространения загрязняющих веществ в атмосферу; выпадения промышленных аэрозолей на подстилающую

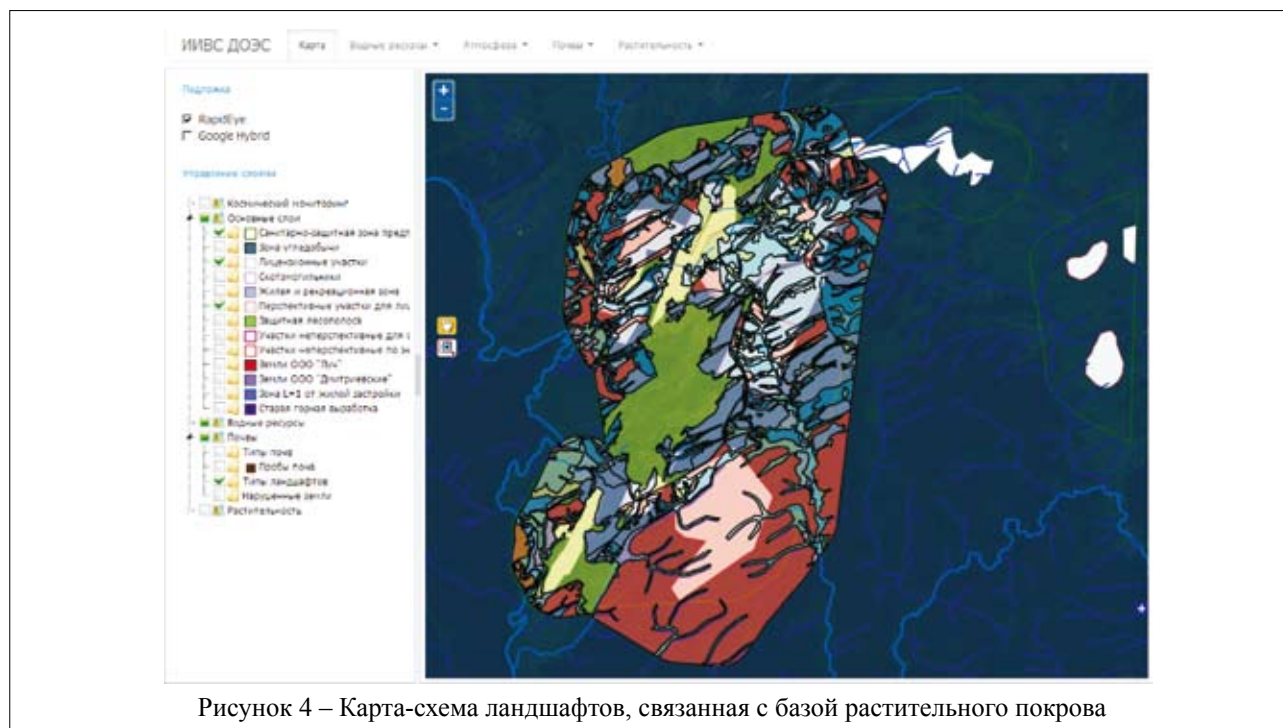


Рисунок 4 – Карта-схема ландшафтов, связанная с базой растительного покрова

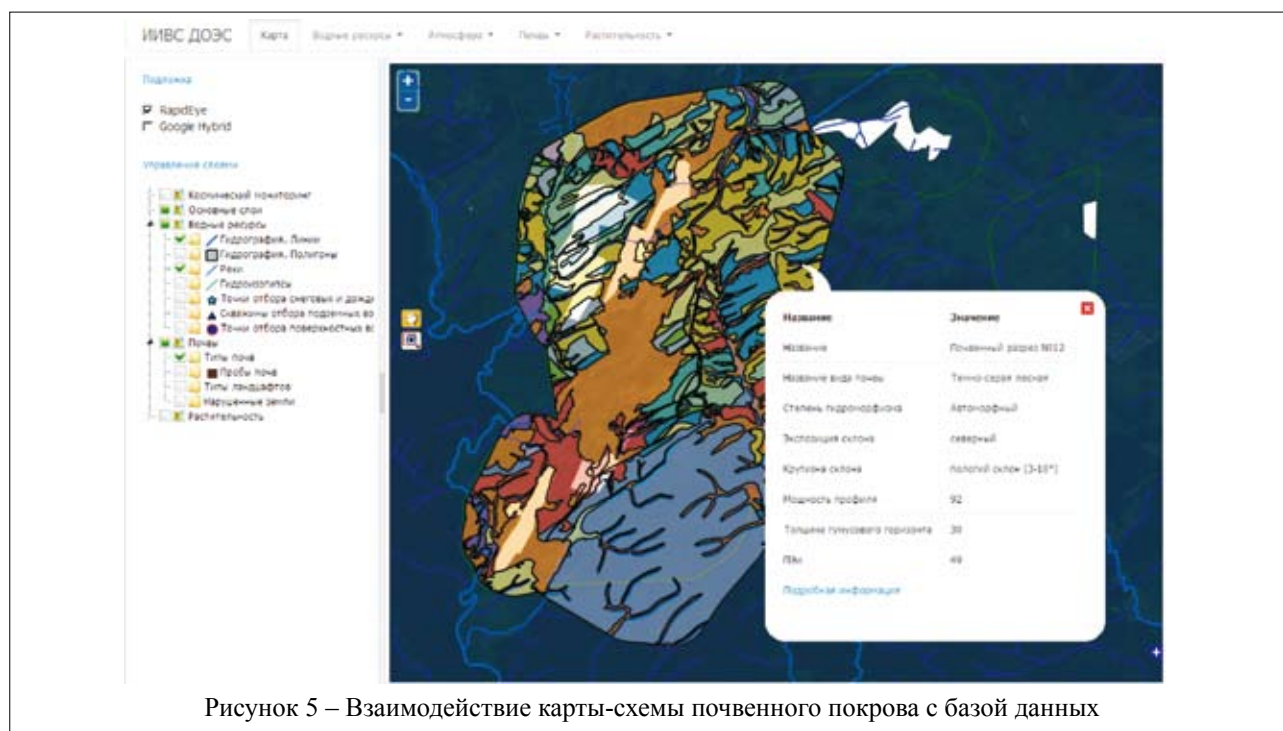


Рисунок 5 – Взаимодействие карты-схемы почвенного покрова с базой данных

поверхность; распространения и выпадения загрязняющих веществ на поверхность при промышленных взрывах с учетом реальной розы ветров (рис. 7); качества поверхностных и подземных вод.

Расчетный модуль системы позволяет вычислять среднегодовые и максимально разовые концентрации выбросов загрязняющих веществ как от всех источников (включая прилегающие предприятия, жилой и промышленный сектора населенных пунктов и городов), так и от конкрет-

ного предприятия (объекта аэропромвыбросов).

Помимо распространения и выпадения промышленных аэрозолей, важными факторами обеспечения безопасности населения являются оценки сотрясаемости (рис. 8) и шумового давления при массовых взрывах.

При помощи расчетного модуля водного блока производится расчет качества воды в точках мониторинга [3] (рис. 9).

Дистанционный мониторинг водных и растительных ресурсов обеспечивает надежный



контроль изменения качества природной среды по всей территории угледобывающего района.

Заключение

Впервые в Российской Федерации создан прототип интегрированной информационно-вычислительной системы для динамической оценки и прогноза экологического состояния угледобывающего района, обеспечивающей сбор и хранение данных по мониторингу природных ресурсов.

Разработанная система является ядром системы управления качеством окружающей среды не только одного отдельно взятого предприятия, но и угледобывающего района и региона в целом.

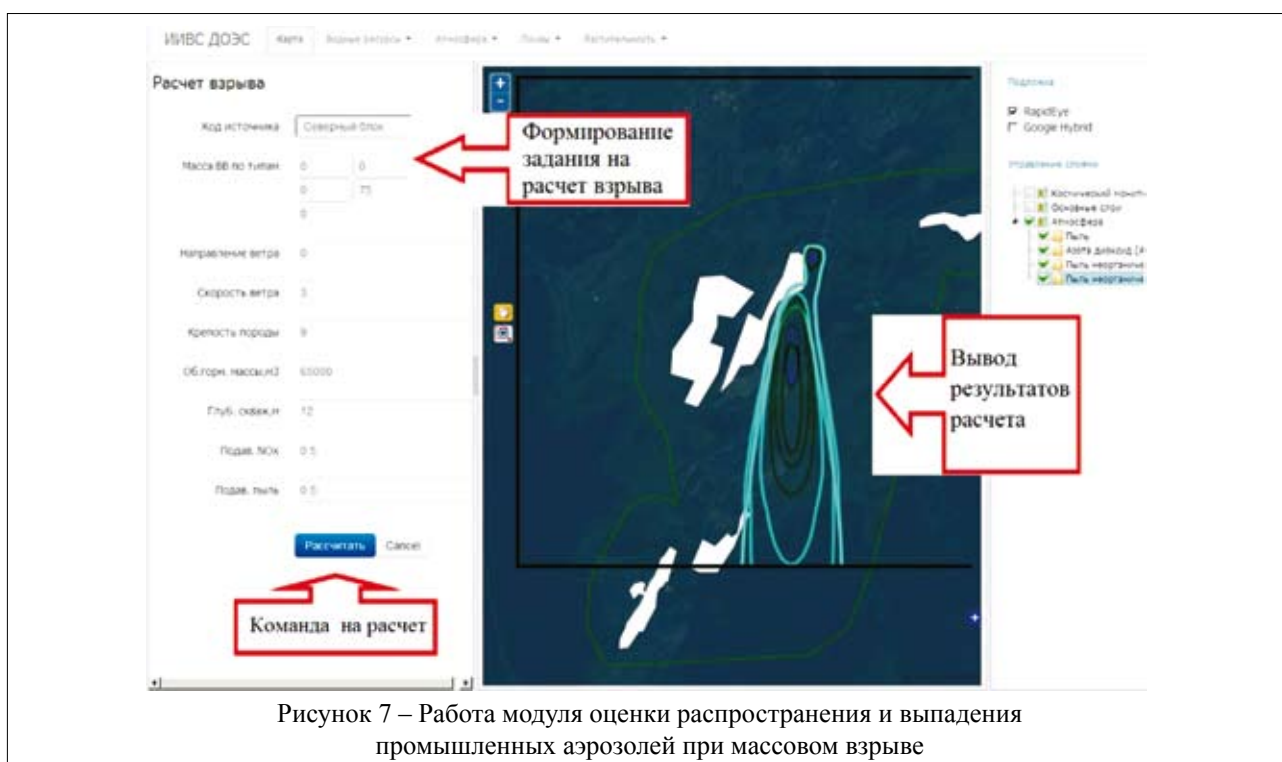
Оценка экологического состояния земель-

ных, растительных, водных ресурсов и атмосферного воздуха, а также прогноз атмосферных загрязнений и выпадения атмосферных аэрозолей на подстилающую поверхность производятся за счет интеграции и обеспечения информационной поддержки данных наземного и дистанционного мониторинга.

В системе впервые решена задача оценки распространения и выпадения промышленных аэрозолей вследствие массовых взрывов при добыче угля в режиме реального времени. Данные о метеопараметрах могут поступать с «Системы измерения метеорологических параметров атмосферы «СИМПА-2И» как в режиме ручного наблюдения, так и в автоматизированном режиме, что позволяет достичь высокой точности расчетов выброса и распространения загрязняющих веществ на прилегающие территории.

Система является открытой и может пополняться новыми картами, базами и расчетными моделями, первоочередными из которых, помимо реализованных, могут стать модели распространения звуковой (или ударной) волны, загрязняющих веществ в водотоке и другие.

Обеспечивается доступ к экологической информации о деятельности отдельного угледобывающего предприятия или угледобывающего района не только специалистов различных экологических и технических служб различного уровня, но и широкой общественности, при этом сохраняется требования по нераспространению служебной информации.



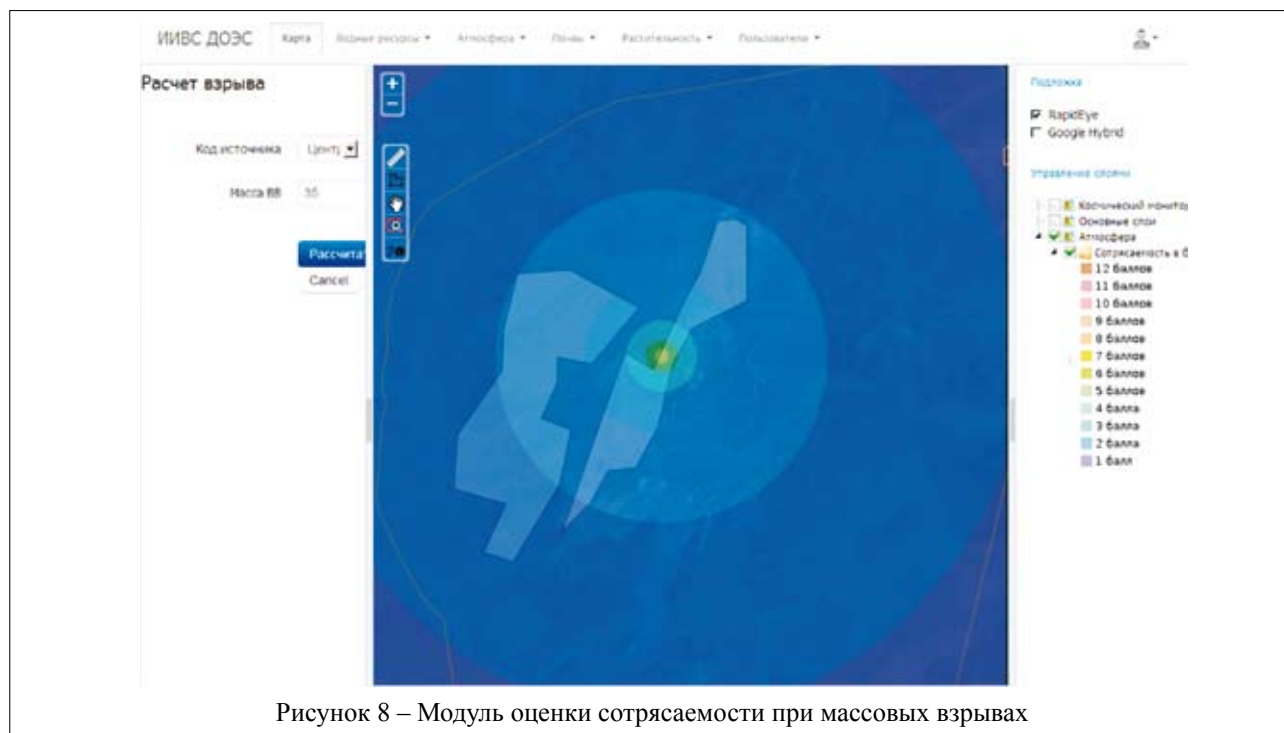


Рисунок 8 – Модуль оценки сотрясаемости при массовых взрывах

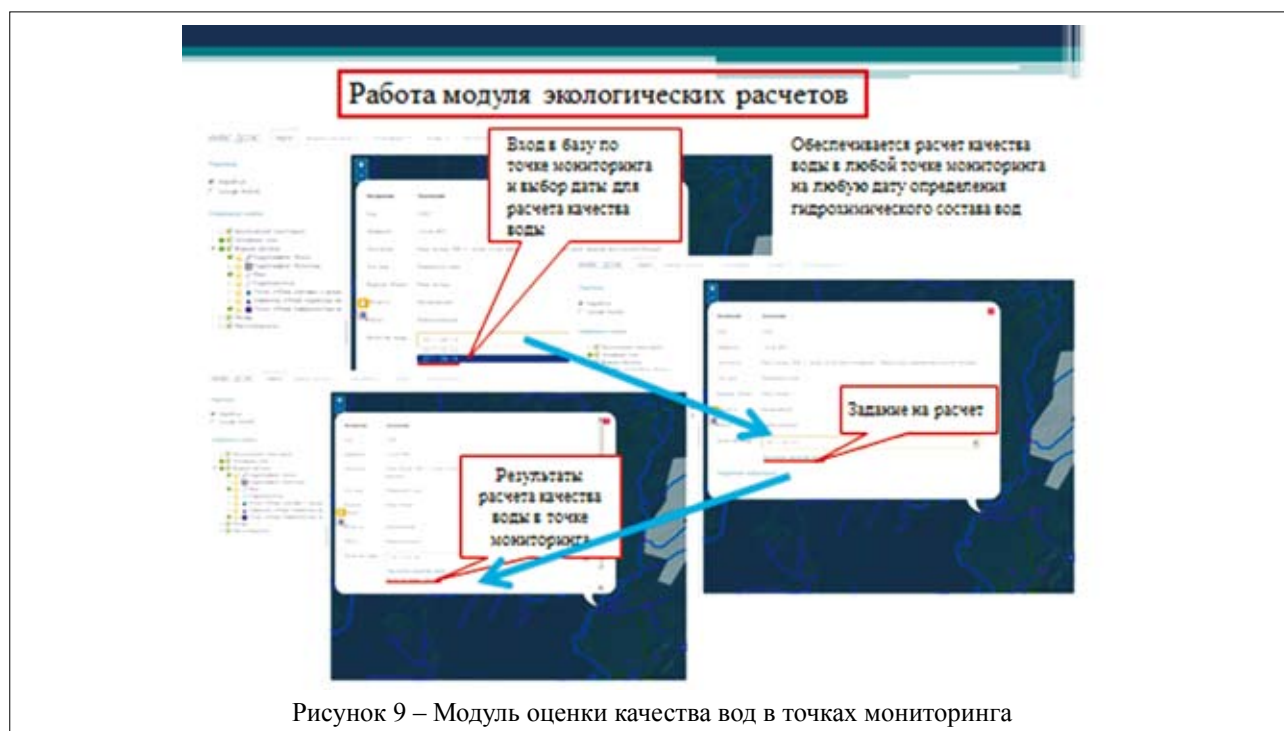


Рисунок 9 – Модуль оценки качества вод в точках мониторинга

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапов, В. П. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса / В. П. Потапов, В. П. Мазикин, Е. Л. Счастливцев, Н. Ю. Вашлаева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 600 с.
2. Счастливцев, Е. Л. Обоснование путей повышения экологической безопасности при добыче угля / Е. Л. Счастливцев [и др.]; отв. ред. В. Н. Опарин; Рос. акад. Наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т горного дела [и др.] // Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – С.179–224.
3. Ковалев, В. А. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса / В. А. Ковалев, В. П. Потапов, Е. Л. Счастливцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 312 с.
4. Опарин, В. Н. Мониторинг загрязнений водного бассейна районов активной угледобычи с использованием данных дистанционного зондирования / В. Н. Опарин, В. П. Потапов, О. Л. Гиниятуллина,

Н. В. Андреева // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 5. – С.181–188.

5. Словарь терминов и определений по охране окружающей среды, природопользованию и экологической безопасности / под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. – СПб., 2001.

6. Научная библиотека КиберЛенинка. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/zony-tehnogennogo-vozdeystviya-teplovyh-elektrostantsiy#ixzz2zsasVbll>

CREATION OF DATA-PROCESSING SYSTEM FOR DYNAMIC MONITORING AND THE STATE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT.

V. P. Potapov, E. L. Schastlivtsev, O. L. Giniyatullina, I. E. Harlampenkov, V. P. Baskakov, E. A. Reutov, M. A. Popov, N. V. Shitushkina

The modern organization of information streams and interaction of model complexes with data of remote sensing of the earth in information system for dynamic monitoring, an assessment and the forecast of a condition of environment in areas of intensive coal mining are considered.

Key words: INFORMATION SYSTEM, MODELS, DATABASES, MONITORING, ENVIRONMENT, EARTH REMOTE SENSING, ASSESSMENT, CONDITION OF ENVIRONMENT

*Потапов Вадим Петрович
e-mail: potapov@ict.sbras.ru*

*Счастливец Евгений Леонидович
e-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru*

*Гиниятуллина Ольга Леоновна
e-mail: giniyatullina@ict.sbras.ru*

*Харлампенков Иван Евгеньевич
e-mail: harlampenkov@ict.sbras.ru*

*Баскаков Владимир Петрович
e-mail: vp.baskakov@yandex.ru*

Реутов Игорь Алексеевич

Попова М. А.

*Шитушкина Наталья Викторовна
e-mail: n.shitushkina@sibengol.ru*

ЮБИЛЯРЫ JUBILEES

ЕРМОЛАЕВ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ (к 80-летию со дня рождения)



4 февраля 2014 г. исполнилось 80 лет Алексею Михайловичу Ермолаеву, доктору технических наук, ветерану ОАО «НЦ ВостНИИ». Более 60 лет отдавшему горному делу, обеспечению промышленной безопасности на угольных предприятиях Кузбасса.

Алексей Михайлович свою трудовую деятельность начал рано – после окончания семилетней сельской школы. В 1950 поступил в Анжеро-Судженский горный техникум и окончил его с отличием, а в 1954 обучался на горном факультете Томского политехнического института. В 1959 г. работал в проектно-институте по проектированию угольных шахт, а затем на шахтах Кузнецкого бассейна в качестве горного мастера и начальника участка буровзрывных работ, очистного и участка дегазации. Позже преподавал в институте повышения квалификации специалистов и руководящих работников министерства угольной промышленности в качестве старшего преподавателя и доцента.

После защиты докторской диссертации преподавал в Кузбасском политехническом университете имени Т. Ф. Горбачева на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом». Алексей Михайлович читал лекции по таким дисциплинам как: горное право, геотехнология, история и социология горного дела, разработка мощных угольных пластов, разработка рудных месторождений, основы методологии горных наук, основы научных исследований, разработка пожароопасных месторождений полезных ископаемых, история горного дела и подземные горные работы, вел практические занятия, руководил производственной практикой студентов и дипломным проектированием как в стенах института, так и в четырех филиалах (Беловском, Прокопьевском, Междуреченском и Таштагольском). Руководил магистерскими диссертациями у десяти студентов.

Главными направлениями научной деятельности Алексея Михайловича являются аэрогазодинамика и обеспечение безопасности жизнедеятельности шахтеров угольных шахт, дегазация, геомеханика и механизация разработки мощных пластов. Автор более 190 публикаций, из них 7 монографий, 14 патентов и авторских свидетельств на изобретения и полезные модели. Консультант и член диссертационного совета по рассмотрению кандидатских и докторских диссертаций при ООО «НЦ ВостНИИ». Член корреспондент АИН им. А.М.Прохорова, Академик МАНЭБ, 25 мая 2006 года.

За большие трудовые заслуги Алексей Михайлович был удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки» и награжден «Звездой Ученого», орденом «За заслуги в науке», медалями «Им. М. В. Ломоносова» и «Ветеран труда».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS IN ENGLISH

Alcov Vitaly Iskhakovich – lead engineer of Institute of Coal SB RAS.

Anisimov Anton Anatolyevich – expert of ООО «НИИ ГП».

Baganina Aleksandra Evgenyevna – candidate of physics–mathematical sciences, worker of Institute of Coal SB RAS.

Baskakov Vladimir Petrovich – candidate of technical sciences, general director of ОАО «Scientific center VostNII»

Bikov Anatoly Aleksandrovich – candidate of physics–mathematical sciences, senior research worker of Institute of computational technology SB RAS (Kemerovo branch).

Bireva Yulia Alekseevna – student of FGBOU VPO «Kemerovskii State University».

Bondareva Lyubov Vasilyevna – assistant of FGBOU VPO «Kemerovskii State University».

Bordakov Valery Nikolaevich – chief engineer of ZAO «Rusintek».

Botvenko Denis Vaycheslavovich – candidate of technical sciences, laboratory head of ОАО «Scientific center VostNII».

Domrachev Alexey Nikolaevich – doctor of technical sciences, leading scientific worker of Novokuznetsk branch VNIPO Ministry of Emergency Situations (Russia).

Druzhinin Andrey Aleksandrovich – candidate of technical sciences, acting general director of Research institute of mine rescue work ОАО «NIIGD».

Filatov Pavel Yuryevich – senior research worker of ОАО «Scientific center VostNII».

Gerike Pavel Borisovich – candidate of technical sciences, senior research worker of Institute of Coal SB RAS, chair assistant professor of FGBOU VPO «KuzGTU named after T. F. Gorbachev».

Giniyatullina Olga Leonovna – candidate of technical sciences, research worker of Institute computational technology SB RAS (Kemerovo branch)

Goloskokov Sergey Ivanovich – candidate of technical sciences, laboratory head of ОАО «Scientific center VostNII».

Goloskokov Yevgeny Ivanovich – senior research worker of ОАО «Scientific center VostNII».

Govorukhin Yury Mikhaylovich – candidate of technical sciences, scientific worker of Novokuznetsk branch VNIPO Ministry of Emergency Situations (Russia).

Gritsenko Boris Aleksandrovich – postgraduate student of Novokuznetsk institute, branch of FGBOU VPO «Kemerovskii State University».

Harlampenkov Ivan Evgenyevich – leading expert of Institute computational technology SB RAS (Kemerovo branch).

Hramtsov Victor Ivanovich – candidate of technical sciences, director of institute of industrial and ecological safety «KuzGTU named after T. F. Gorbachev».

Kazantsev Vladimir Georgiyevich – doctor of technical sciences, head of a chair Biysk Technological Institute (branch) of FGBOU VPO «AltGU named after I. I. Polzunov».

Khludov Denis Stanislavovich – director of ООО «Vost EKO».

Khristoforov Alexander Aleksandrovich – chief engineer of ООО «TsOT–Gorny».

Korabelnikov Dmitry Valeryevich – candidate of technical sciences, chair assistant of «TGV PAHT» of Biysk Technological Institute (branch) of FGBOU VPO «AltGU named after I. I. Polzunov».

Kozyreva Elena Nikolaevna – candidate of technical sciences, leading scientific worker of Institute of Coal SB RAS.

Krivolapov Victor Grigoryevich – candidate of technical sciences, deputy manager for scientific work of Novokuznetsk branch VNIPO Ministry of Emergency Situations (Russia).

Lensky Maxim Aleksandrovich – candidate of chemistry sciences, chair assistant, professor of «TGV PAHT» of Biysk Technological Institute (branch) of FGBOU VPO «AltGU named after I. I. Polzunov».

Li Konstantin Hiunovich – engineer of ОАО «Scientific center VostNII».

Lipatin Valery Innokentiyevich – research worker of Novokuznetsk branch VNIPO Ministry of Emergency Situations (Russia).

Ludzish Vladimir Stanislavovich – doctor of technical sciences, professor, leading scientific worker of ОАО «Scientific center VostNII».

Malakhov Andrey Andreevich – chief engineer of ООО «Vost EKO».

Nedosekina Nina Mikhailovna – senior scientific worker of OAO «Scientific center VostNII».

OlennikovSergey Vasilyevich – deputy director of OOO «Vost EKO».

Ozhogin Andrey Viktorovich – postgraduate student of «HTEMI» of Biysk Technological Institute (branch) of FGBOU VPO «AltGU named after I. I. Polzunov».

Paleev Dmitry Yuryevich – doctor of technical sciences, laboratory head of Institute of Coal SB RAS.

Petrov Yevgeny Anatolievich – doctor of technical sciences, professor, department head of OAO «FNPC«ALTAI», chair head of Biysk technological institute (branch) FGBOU VPO «AltGU named after I. I. Polzunov».

Popova M. A. – chief ecologist of OOO HK «SDS-Coal».

Portola Vyacheslav Alekseevich – doctor of technical sciences, professor of FGBOU VPO «KuzGTU named after T. F. Gorbachev», professor of «UTI TPU»

Potapov Vadim Petrovich – doctor of technical sciences, director of Institute of computational technology SB RAS (Kemerovo branch).

Prokopenko Sergey Arturovich – doctor of technical sciences, professor, leading scientific worker of OAO«Scientific center VostNII», professor of «UTI TPU».

Pushkin Sergey Grigoryevich – candidate of chemistry sciences, senior research worker of Institute of computational technology SB RAS (Kemerovo branch).

Reutov Igor Alekseevich – general director of OOO «SibEnergoUgol».

Savin Pavel Ivanovich – engineer of the II category of OAO «FNPTs Altay».

Sazonov Mikhail Sergeevich – candidate of technical sciences, senior research worker of OAO «Scientific center VostNII».

Schastlivtsev Evgeny Leonidovich – doctor of technical sciences, head of a chair of Institute of computational technology SB RAS (Kemerovo branch).

Shadrin Aleksandr Vasilievich – doctor of technical sciences, Corresponding Member of RAEN, head of scientific office of FGBOU VPO «Kemerovskii State University».

Shitushkina Natalya Viktorovna – chief ecologist of OOO «SibEnergoUgol».

Sobolev Victor Vasilievich – doctor of technical sciences, deputy general director of OAO «Scientific center VostNII».

Spirin Sergey Vladimirovich – division head of the Department of Coal Industry Mines and Energy Kemerovo Region Administration

Svirina Yulia Yurevna – candidate of technical sciences, chair assistant of «EKO» of Biysk technological institute (branch) FGBOU VPO «AltGU named after I. I. Polzunov».

Terentieva Natalia Anatolievna – chief engineer of OAO «Scientific center VostNII».

Trubitsyn Anatoly Aleksandrovich – doctor of technical sciences, deputy director for scientific work of OOO «NIIGP».

Trubitsyna Darya Anatolyevna – director of OOO «TsOT–Gorny».

Trubitsyna Nelia Vadimovna – deputy director of OOO «Vost EKO».

Vysotsky Vladimir Vladimirovich – senior professor, head of a chair of Experimental Physics of FGBOU VPO «Kemerovskii State University».

Yukina Natalya Ivanovna – candidate of technical sciences, scientific worker of Institute of computational technology SB RAS (Kemerovo branch).

Zakharov Yury Nikolaevich – doctor of physics–mathematical sciences, professor, head of a chair of FGBOU VPO «Kemerovskii State University».

Zavgorodny Victor Ivanovich – leading scientific worker of OAO «Scientific center VostNII».

ТРЕБОВАНИЯ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НТЖ «Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности»

I. Порядок представления материалов в редакцию

1. В журнал принимаются статьи, соответствующие его тематике – охрана труда, безопасность в чрезвычайных ситуациях, пожарная и промышленная безопасность в угольной промышленности, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.
2. Статья должна быть оригинальной, не представленной в других изданиях.

II. Форма представления рукописи

1. Рукопись представляется отпечатанной в текстовом редакторе Word через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 и в электронном виде (передается по электронной почте yarosh_mv@mail.ru или на магнитном носителе).
2. Все страницы рукописи, включая таблицы, список литературы, рисунки должны быть пронумерованы. Рекомендуемый объем статьи 5–7 страниц. Статья должна быть подписана всеми авторами.
3. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Подготовка электронной версии материалов

1. Текст набирается шрифтом Arial, размер шрифта 10, для заголовка 14, полуторный интервал, абзацный отступ 1,25 см, формат листа А4. Поля с левой стороны 3 см, сверху и снизу 2 см, справа 1,5 см;
2. Электронная версия должна быть идентична распечатанному тексту. В случае расхождения за основу берется печатный вариант.

Структура статьи

1. Индекс УДК.
2. Инициалы и фамилия автора (ов).
3. Место работы.
4. Название статьи.
5. Реферат.
6. Ключевые слова.
7. Текст статьи с таблицами, иллюстрациями, формулами.
8. Библиографический список (оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-2003).

На отдельном листе или в конце статьи размещается «Список авторов», который должен содержать:

- публикуемые сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность и место работы);
- служебные или домашние адреса с указанием почтового индекса;
- служебный или домашний телефоны (факс, e-mail).

Обращаем ваше внимание, что представление оригинальной статьи к публикации в НТЖ означает согласие авторов на передачу права на воспроизведение, распространение и доведение произведения до всеобщего сведения любым способом.

Редколлегия

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.minesafety.ru.

Редакция журнала оставляет за собой право отбора поступивших рекламных материалов.