





Библиотека горного инженера

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ
Выпуск 1**

Аэрология и безопасность
горных предприятий

Москва
2013

УДК [622.41.016+622.8](082)
ББК 33.18я43
С232

Редакционная коллегия серии «Библиотека горного инженера»:

В. Б. Артемьев — д.т.н., председатель; *А. И. Добровольский*,
А. П. Заньков, *А. Б. Килин*, *А. В. Федоров*, *С. В. Ясюченя*

Сборник научных трудов. Выпуск 1 «Аэрология и безопасность горных предприятий» / Сост. Галкин А. Ф. — М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. — 248 с. : ил., табл. — (Библиотека горного инженера).

ISBN 978-5-905450-37-2

В сборнике представлены работы по проблемам рудничной аэрологии, прогнозу аварийных ситуаций, разработке многофункциональных систем безопасности и средств индивидуальной и коллективной защиты рабочих горных предприятий, обеспечению безопасных условий труда, в том числе материалы Международной научно-практической конференции «Аэрология и безопасность горных предприятий» 2012 г.

Сборник предназначен для инженерно-технических работников, представителей научных, проектных и производственных организаций, аспирантов и студентов горных специальностей вузов.

**УДК [622.41.016+622.8](082)
ББК 33.18я43**

ISBN 978-5-905450-37-2

© Издательство «Горное дело»
ООО «Киммерийский центр», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

<i>Тренчек С., Войтас П., Кельльер Дж.</i> Использование новой системы аэрологического мониторинга для повышения безопасности работ в угольных шахтах	11
<i>Козырев С. А., Амосов П. В.</i> Математическое моделирование проветривания тупиковых выработок при взрывных работах с использованием CFD-моделей	23
<i>Козырев С. А., Осинцева А. В.</i> Оптимизация параметров регуляторов потоков воздуха в руднике на основе генетического алгоритма	30
<i>Коршунов Г. И., Бобровников В. Н., Суфияров А. М.</i> О развитии вентиляции и дегазации на шахтах Воркуты	36
<i>Гендлер С. Г.</i> Принципы модернизации вентиляции Гимринского автодорожного тоннеля	42
<i>Каледина Н. О., Кобылкин С. С.</i> Обоснование метанобезопасных режимов проветривания очистных и подготовительных выработок	54
<i>Бобровников В. Н., Гридина Е. Б., Ястребова К. Н.</i> Основные методы управления аэрогазопыледи динамическими процессами в рабочем пространстве карьеров и разрезов Крайнего Севера	59
<i>Кастаньеда Негальскалов В., Фонов О. В., Горячев Д. С.</i> Опыт проектирования и производства шахтных вентиляторов больших типоразмеров	64
<i>Соколенко Д. Н., Пахтусов М. Ю.</i> Опыт применения изолирующих материалов для решения вопросов управления вентиляцией и газовым режимом на угольных шахтах	74

БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

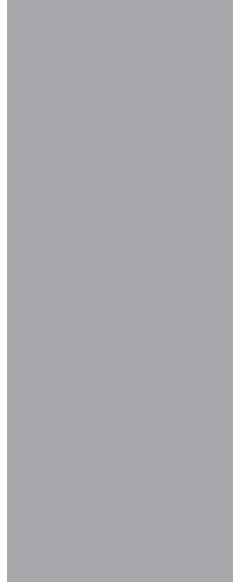
<i>Ройтер М., Крах М., Векслер Ю., Сенкус В., Лукин К.</i> Способы регулирования метановыделения и порога взрываемости метана в очистных забоях	81
<i>Голинко В. И.</i> Улучшение динамических характеристик анализаторов метана	88
<i>Алексеенко С. А., Шайхлисламова И. А.</i> Квантово-информационный способ прогнозирования аварийных ситуаций в шахтах	100
<i>Марченко В. В.</i> Особенности выхода вредных газов из пор отбитой руды при массовых взрывах	106
<i>Каледина Н. О., Завиркина Т. В.</i> Прогнозирование эндогенных пожаров как важнейшее условие обеспечения взрывобезопасности угольных шахт	113
<i>Бабенко А. Г., Лапин С. Э.</i> Обеспечение комплексной безопасности угольных шахт	118
<i>Гридина Е. Б., Пасынков А. В.</i> Комплексная оценка уровня промышленной безопасности на угольных разрезах на основе статистического анализа и экспертных оценок	124

ОХРАНА ТРУДА

<i>Коршунов Г. И., Мироненкова Н. А., Потапов Р. В., Яковенко Т. А.</i> Обеспечение радиационной безопасности рабочих (радиационный мониторинг) при строительстве и эксплуатации подземных сооружений	135
<i>Ефремов С. В., Идрисова Д. И.</i> Оценка условий труда операторов тяжелой техники при проведении вскрышных работ	141
<i>Чеберячко С. И., Чеберячко Ю. И., Столбченко Е. В.</i> Особенности выбора и эксплуатации противопылевых средств индивидуальной защиты органов дыхания на угольных предприятиях	148
<i>Никулин А. Н.</i> Производственное освещение как фактор повышения работоспособности	158
<i>Смирнякова В. В.</i> Профессиональный отбор как средство снижения травматизма на горных предприятиях	163
<i>Мицкевич А. А.</i> Определение оптимальных затрат на охрану труда на горном предприятии Севера	168
<i>Шансков М. А.</i> Использование физиологических показателей в оценке тяжести труда шахтера	173

СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

<i>Овчаренко Г. В.</i> Обеспечение безопасности работ при переходе вывалообразований в лавах пологих пластов	181
<i>Коржавых П. В.</i> Обоснование безопасной технологии частичной отработки междукамерных целиков рудника им. Губкина	191
<i>Рассказов И. Ю., Гладырь А. В., Рассказов М. И., Цой Д. И., Аникин П. А., Искра А. Ю., Мирошников В. И.</i> Автоматизированная широкодиапазонная система мониторинга опасных проявлений горного давления	195
<i>Александров В. И., Коптев В. Ю.</i> Современные схемы транспорта проведения горных выработок	201
<i>Комлева Е. В.</i> Аспекты хранения и захоронения ядерных материалов	212
<i>Красюк А. М., Лугин И. В., Пьянкова А. Ю.</i> Исследование температурных полей грунтового массива, окружающего станции метрополитена мелкого заложения	232
<i>Магомет Р. Д.</i> Развитие добычи природного газа из сланцевых пород	237



АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ АЭРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Аннотация. Обсуждается влияние зависимостей одновременно присутствующих опасностей на общий уровень безопасности. Показано влияние эндогенной пожароопасности и удароопасности на уровень взрывоопасности. Кратко описан новый способ системного и комплексного мониторинга опасностей, учитывающий одновременное наличие метановой и пожарной опасности, а также опасности горных ударов и взрыва угольной пыли. Описаны его главные задания и функции.

Ключевые слова: шахтная пыль, эндогенный пожар, взрывы, комплексный мониторинг.

Summary. Presented influence of dependence jointly attendance dangers to the overall level of safety. Shown the effect of endogenous fire and bump hazard to the level of explosion. Briefly described the new way of system and complex monitoring of joint risks, taking into account the co-existence of methane and fire danger and also danger of bursting and explosion of coal dust. Described its main tasks and functions.

Keywords: mine dust, endogenous fire, bursting, explosion, complex monitoring.

Введение

Многие трагические события, произошедшие за последние несколько десятков лет в польских шахтах, своими последствиями подтверждают, к сожалению, факт, что каждая опасность сама по себе может угрожать здоровью и жизни людей. Одновременное же возникновение двух или нескольких опасностей эту угрозу повышает. Все более глубокая разработка угольных пластов вызывает увеличение концентрации очистных работ, выполняемых в условиях одновременного наличия нескольких опасностей.

Наиболее существенное повышение уровня опасности вызывает одновременное наличие метановой опасности, опасности возникновения эндогенного пожара, горных ударов и взрыва угольной пыли, и чем больше их возникает одновременно, тем выше общий уровень опасности [3].

Особое место среди них занимает метановая опасность. Во-первых, потому, что воспламенение метана может быть вызвано несколькими разными источниками, к числу которых относятся также источники, являющиеся последствием опасности эндогенных пожаров и горных ударов. Во-вторых, воспламенение метана может впоследствии стать источником взрыва угольной пыли или воспламенения угля (в особых случаях также другого горючего материала).

На безопасность подземных горных разработок оказывают влияние прежде всего естественные опасности, непосредственно или косвенно связанные с процессом проветривания. Измерение параметров рудничной атмосферы (горная аэрометрия) служит для контролирования этих процессов и выявления уровня аэрологической опасности. Контролирование и его точность влияют на оценку уровня опасности, а следовательно, и на принятие решений относительно предупредительных действий в случае обнаружения роста опасности (например, осуществление профилактических мер, эвакуация людей, начало спасательной операции) [5, 7].

Постоянное развитие метрологии, техники и технологии способствовало созданию систем мониторинга, в которых преобладали газометрия (метанометрия, СО-метрия) и анемометрия (измерение скорости прохода воздуха). Эти системы постоянно совершенствуются в плане точности измерений и времени реакции, а также скорости передачи сигнала. Их развитие идет также в направлении расширения функциональных возможностей, измерения новых параметров воздуха и других факторов, а также адаптации к потребностям пользователя. Все это привело к тому, что в настоящее время системы автоматического измерения и мониторинга охватывают все больше параметров, измерение которых до сих пор производилось нерегулярно, с применением переносных или лабораторных приборов [4].

Значение мониторинга опасностей

Развитие науки, а также произошедшие события, связанные с наличием опасностей, способствуют постоянному расширению знаний в области существующих опасностей, совершенствованию правил, определяющих способ осуществления деятельности горного предприятия, модернизации машин и оборудования с точки зрения безопасности их эксплуатации, внедрению все более безопасных технологий горных работ и их организации, а также соответствующих контрольно-измерительных приборов как для разовых измерений, так и для постоянного мониторинга.

В процессе контролирования опасностей важное место занимала и продолжает занимать метрология [10, 9], динамика развития которой связана с развитием науки и техники вообще, электротехники, электроники и компьютерной техники в частности. На развитие приборов, используемых для контроля, значительное влияние оказало также нарастание опасностей.

С начала 90-х гг. XX в. усугублялась проблема одновременных опасностей (по газу, горным ударам, пожарная опасность и опасности взрыва угольной пыли). В результате увеличивалась вероятность возникновения аварийной или критической ситуации в работе горного предприятия. Это положило начало работы систем диспетчерского надзора за технологическими процессами и безопасностью людей, обеспечивающего, в частности, визуализацию изменений, возникающих в запрограммированных и контролируемых системой процессах, с помощью динамического синоптического табло. Возросшее значение контроля за уровнем одновременных опасностей привело к тому, что кроме главного диспетчера по производству важную роль стали играть диспетчер по метанометрии и диспетчер шахтной станции по горным ударам, осуществляющие надзор за совершенствующимися системами контроля. Необходимой стала интеграция существующих на шахте подсистем в одну, логически связанную систему диспетчерского надзора с многоуровневой структурой мониторинга процесса добычи и безопасности (SD2000). Это система открытого типа, позволяющая подключать и интегрировать очередные новые подсистемы [9].

Новая, разработанная в 2006 г. система SMP-NT/A является комплексным решением проблемы мониторинга параметров безопасности и производства на горных предприятиях согласно действующим в Польше правилам [2]. В состав системы (рис. 1) входят стационарные устройства (поверхностные), объектные устройства (подземные), концевые устройства (аналоговые и дискретные датчики), а также необходимая для управления безопасностью и производством горного предприятия информатическая инфраструктура.

Подземные устройства системы позволяют осуществлять непрерывный контроль параметров рудничной среды, в частности:

- измерение физических параметров и химического состава воздуха — мониторинг аэрологической опасности;
- контроль состояния и рабочих параметров вентиляционного оборудования;
- сейсмоакустический контроль напряженного состояния горного массива;
- сейсмический контроль горных ударов массива;
- контроль уровня запыленности рудничного воздуха и оценку интенсивности осаждения пыли;
- контроль состояния и рабочих параметров горных машин и оборудования технологической линии;
- реализацию алгоритмов дискретного управления подземными машинами и оборудованием, в том числе автоматического отключения питания в случае опасности взрыва.

В подземной части системы применяются исключительно искробезопасные устройства, предусмотренные для дистанционного питания

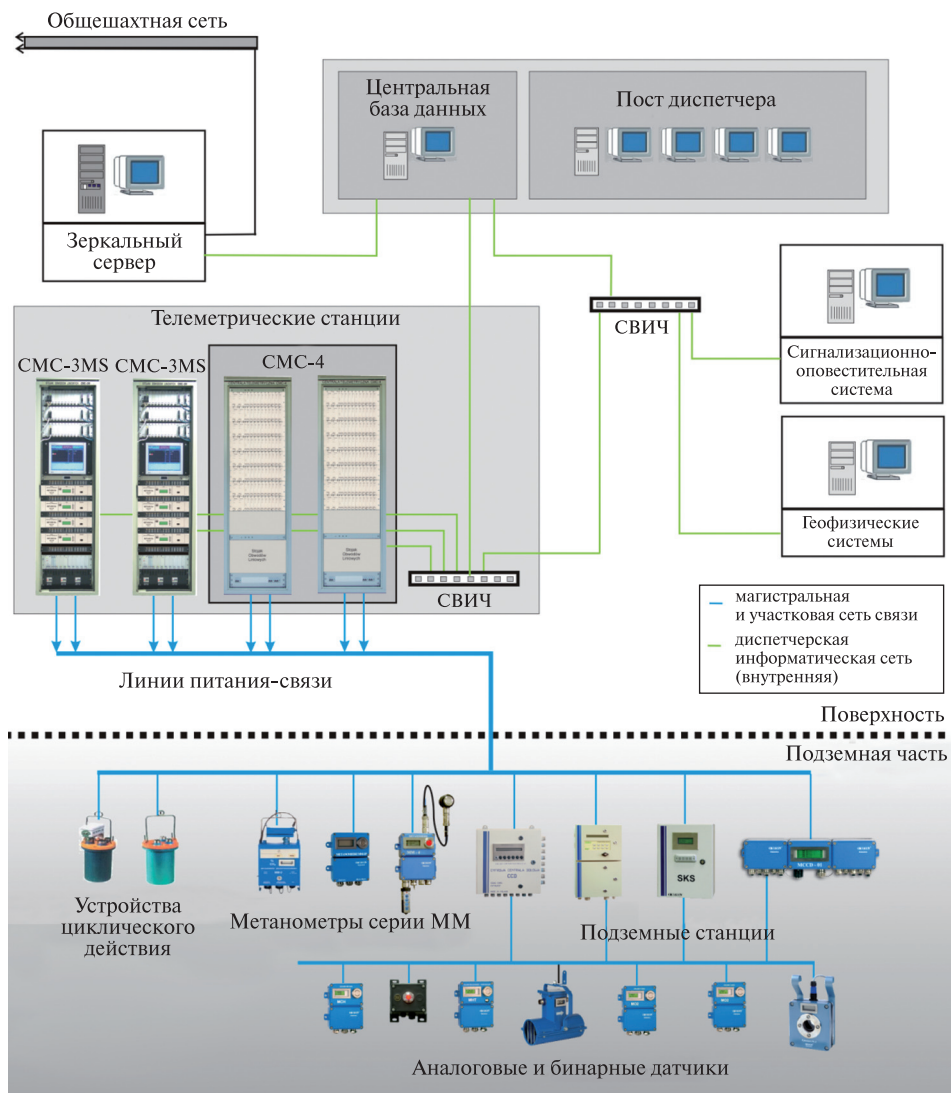


Рис. 1. Схема системы SMP-NT/A

от линейных цепей станционной части системы. Это свойство приобретает особое значение в случае шахт с высоким уровнем естественных опасностей, так как позволяет обеспечить непрерывность мониторинга среды в любых условиях, независимо от состояния подземной электроэнергетической сети. Как измерительно-исполнительная (телеметрическая) часть, так и информатическая (диспетчерская) инфраструктура имеют модульное строение, что означает возможность конфигурации системы соот-

ветственно размерам контролируемого объекта и функциям, ожидаемым в данный момент пользователем системы.

Для шахт, разрабатывающих удароопасные пласты, а также опасные по внезапным выбросам метана и породы, особое значение имеет сейсмоакустический и сейсмический контроль. Задачей сейсмоакустической системы ARES-5/E является преобразование с помощью измерительных зондов в виде геофонов (закрепленных на анкерах в боковых стенах подготовительных штреков) скорости механических колебаний горного массива в электрический сигнал, а затем, после усиления и фильтрации в передатчиках, передача этих сигналов на поверхность, на шахтную геофизическую станцию, посредством кабельной сети связи и приемных схем станции. В то же время система ARAMIS M/E (с цифровой передачей сигналов) позволяет определять местоположение толчков, возникших на территории шахты, их энергию и степень опасности горного удара методами сейсмологии. Большая скорость (110 дБ), полоса регистрируемых частот (0–150 Гц) и помехоустойчивость цифровой передачи позволяют правильно регистрировать как слабые сейсмические явления, начиная с 10^2 Дж, так и явления с высокой энергией, а также идентифицировать характерные фазы сейсмических кривых. В зависимости от линейных размеров объекта в качестве датчиков используются сейсмометры или опционально низкочастотные геофоны. Система обеспечивает непрерывную регистрацию сейсмических сигналов на регистрирующем сервере.

Уникальным решением является контроль уровня запыленности рудничного воздуха, что при использовании эталонной модели осаждения для данного участка позволяет определять интенсивность осаждения угольной пыли в прикасающихся к лаве выработках. Это дает возможность оценивать уровень опасности взрыва угольной пыли и применять соответствующие меры защиты.

Системный и комплексный мониторинг одновременных опасностей позволяет вести цифровую обработку сигналов и компьютерную их интерпретацию, что осуществляется в поверхностной части системы. Структура системы строго подчинена требованиям правил и директив. В частности, система:

- обеспечивает реализацию принятой в горной промышленности иерархической системы управления производством и безопасностью;
- позволяет осуществлять дистанционное питание подземных устройств с поверхности, что обеспечивает их работу в любых условиях;
- обеспечивает реализацию требуемой, согласно действующим правилам, визуализации данных в диспетчерском пункте, архивацию и составление отчетов об измерительных данных, событиях, а также управление подземными устройствами питания и сигнализации.

Кроме того, система обеспечивает:

- автоматическое оповещение работающих людей об угрожающей им опасности;

- интеграцию с геофизическими системами для обеспечения реализации автоматических опережающих отключений электроэнергии на участках, где произошел толчок с энергией, способной вызвать интенсивное выделение метана;
- взаимодействие посредством поверхностной информатической сети с другими действующими на горных предприятиях системами сбора и визуализации данных.

Значение системы мониторинга невозможно переоценить, но обычно ее применение ограничивается измерением параметров, контроль которых предусмотрен законом.

Новые области системы мониторинга

Опасность угольной пыли

Проводимые Институтом ЕМАГ в течение нескольких лет исследования интенсивности пыли в воздухе шахты помогли построить и проверить работоспособность прибора для измерения количества пыли и усовершенствовать его. Исследования на месте и соответствующие интерпретации результатов позволяют использовать их должным образом и оценить уровень риска вредного воздействия угольной пыли и опасности ее взрыва [8]. Мониторинг пыли с помощью пылемера РЛ-2 (рис. 2) дает гораздо больше возможности для контроля уровня пыли и предотвращения возможных последствий.

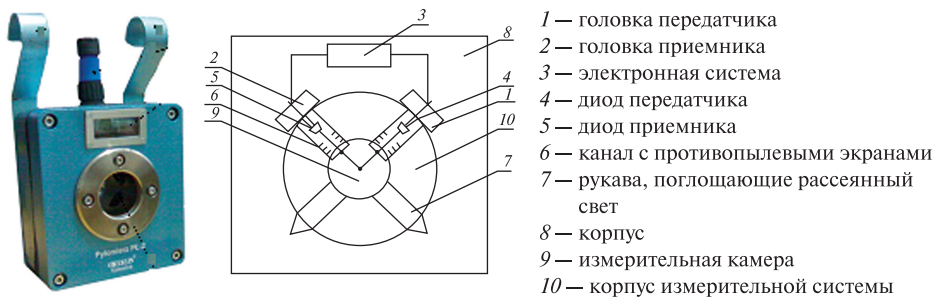


Рис. 2. Пылемер РЛ-2

Исследования трех пылемеров РЛ-2, установленных в струе использованного воздуха от лавы (10, 60 и 100 м от лавы), показали, как быстро меняется концентрация пыли в течение одной смены. Благодаря таким измерениям можно определить распределение концентрации относительно допустимых величин с точки зрения вредного воздействия на здоровье, как это показано на примере пылемера, расположенного в 60 м от лавы (рис. 3).



Рис. 3. Изменение концентрации пыли (записано с помощью пылемера РЛ-2, расположенного в 60 м от лавы)

Таким образом можно определить уровень воздействия на работников вредной пыли и отметить опасную зону с учетом среднего значения: *A* — безопасная, *B* — приемлемая, *C* — неприемлемая (рис. 4).

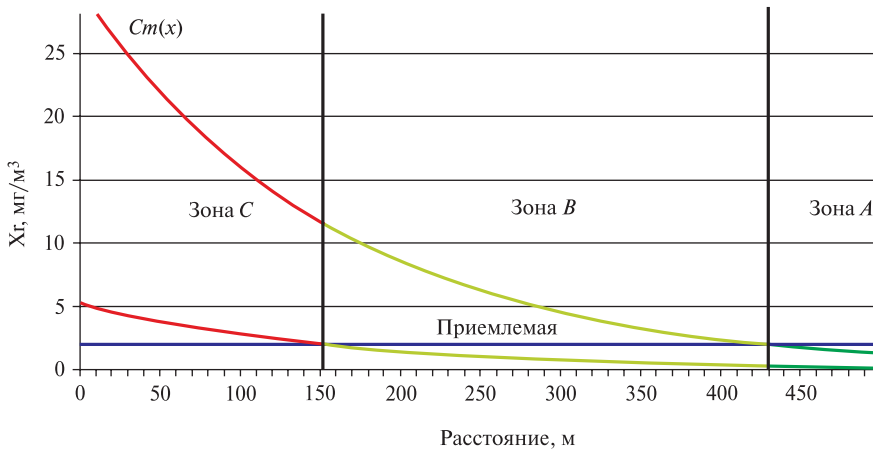


Рис. 4. Зоны опасности по угольной пыли

Кроме того, важно знать интенсивность оседания и отложения взрывоопасной угольной пыли, чтобы рассчитать интенсивность ее нейтрализации исходя из общей массы пыли, оседающей в зоне выработки (выработка) на основе средних распределений взвешенной пыли. Для этого рассчитывается среднее распределение пыли в тестовой выработке, которая является основой для определения распределения потери пыли, так называемая кривая потери. Кривая потери (рис. 5) обозначена $C_u(x)$, дает ин-

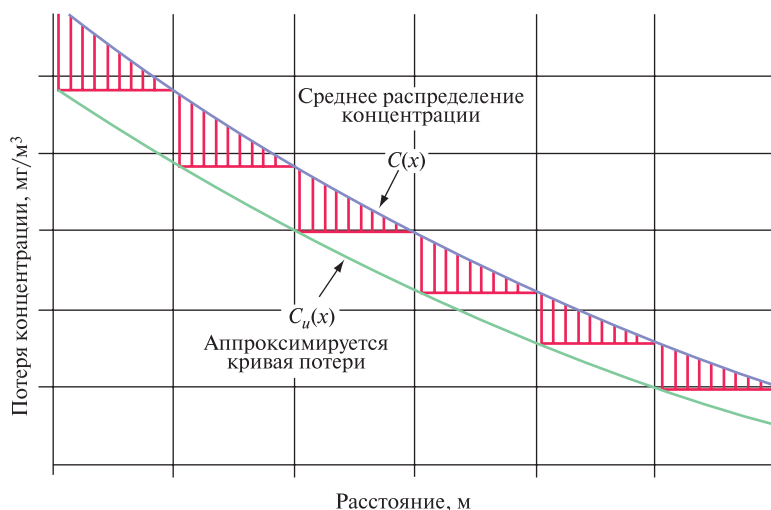


Рис. 5. Распределение концентрации пыли в воздухе

формацию о том, как падает концентрация взвешенной пыли в воздухе с удалением от источника пыли.

Такую реальную текущую оценку опасности вредного воздействия пыли и взрывоопасности угольной пыли обычно не дают универсальные измерения гравиметрических концентраций пыли.

Тепловая опасность

Местный способ контроля тепловой опасности осуществляется с помощью индекса эквивалентной температуры среды (t_{zk}), который определяется по формуле

$$t_{zk} = 0,6t_w + 0,4t_s - v, \quad (1)$$

где t_w — температура воздуха, измеренная «мокрым» термометром, в диапазоне 20–34 °С;

t_s — температура воздуха измеренная «сухим» термометром, в диапазоне 25–35 °С;

v — скорость воздуха (м/с), умноженная на коэффициент ($c \cdot \text{°C}/\text{м}$), в диапазоне 0,15–4,0 м/с.

Измерение параметров в формуле (1) с помощью стационарного инструмента возможно только в диапазоне температур от измеренных «сухим» термометром и устройств для измерения скорости воздушного потока. Непрерывное измерение «влажной» температуры («мокрым» термометром) в горных выработках угольных шахт практически невозможно осуществить с помощью автоматических приборов (датчиков). Это измерение должно быть заменено измерением относительной влажности и атмосферного давления, а «влажная» температура должна быть определена косвенным путем.

Результаты исследований, проведенных в Институте EMAG, были использованы для расчета температурных зависимостей, возникающих между «влажным» давлением воздуха, относительной влажностью, давлением насыщенного пара и «сухой» температурой. Это дает возможность автоматически определить степень теплового риска, основанного на эквивалентной температуре среды.

Разработанный для этой цели инструмент (рис. 6) также осуществляет — в дополнение к измерениям — такие функции, как: расчет температуры влажного воздуха и нового индекса, визуализацию измеренных и вычисленных значений, а также сигнализацию (свет, звук) превышения допустимых порогов, установленных для третьей степени климатического риска.

Институт EMAG также разработал портативный прибор для определения замещающей температуры климата — МТЗК-1 (рис. 7).

Прибор непрерывно измеряет «сухую» температуру T_s (°C), температуру «мокрую» T_w (°C), скорость движения воздуха V (м/с), атмосферное давление P (hPa) и влажность воздуха H (%) и устанавливает замещающую температуру климата T_{zk} (°C). Все измеренные значения постоянно отображены на ЖК-дисплее (LCD) с подсветкой [1].

Данные измерений, а также дата и время могут быть сохранены во внутренней энергонезависимой памяти устройства. Эти данные можно просматривать локально на дисплее, а также копировать на компьютер.

Опасности эндогенного пожара, метана и других газов

Анализ вентиляции сети использует знание о распределении поля аэродинамических потенциалов, которое позволяет оценить неконтролируемые потоки газов через выработанные пространства, в том числе кислорода,



Рис. 6. Модель прибора для определения замещающей температуры климата



Рис. 7. Портативный прибор МТЗК-1 для определения замещающей температуры климата

влияющего на развитие саморазогрева угля, а также потока метана и других вредных газов (окись углерода и углекислый газ). Измерения для определения потенциала, т.е. измерения абсолютного давления и температуры («сухого» и «мокрого» термометра) в выбранных точках (узлах) системы вентиляции и нулевой приемной площадке воздухоподающего ствола, производятся с помощью портативных устройств. Потенциальная схема осуществляется очень редко.

Поле аэродинамических потенциалов меняется в связи с изменением параметров воздуха и изменением в структуре сети или вентиляционного сопротивления выработок. Это особенно важно в случае соседства выработанных пространств с районом проведения работ или соседства выработанных пространств двух шахт, в которых проводится сетевой анализ отдельно.

Это применяется на практике в случае эндогенной пожарной опасности в выработанных пространствах. Зная начальные значения (рис. 8), возможно соответственно это поле выравнивать (см. рис. 8б) и предотвратить пожар.

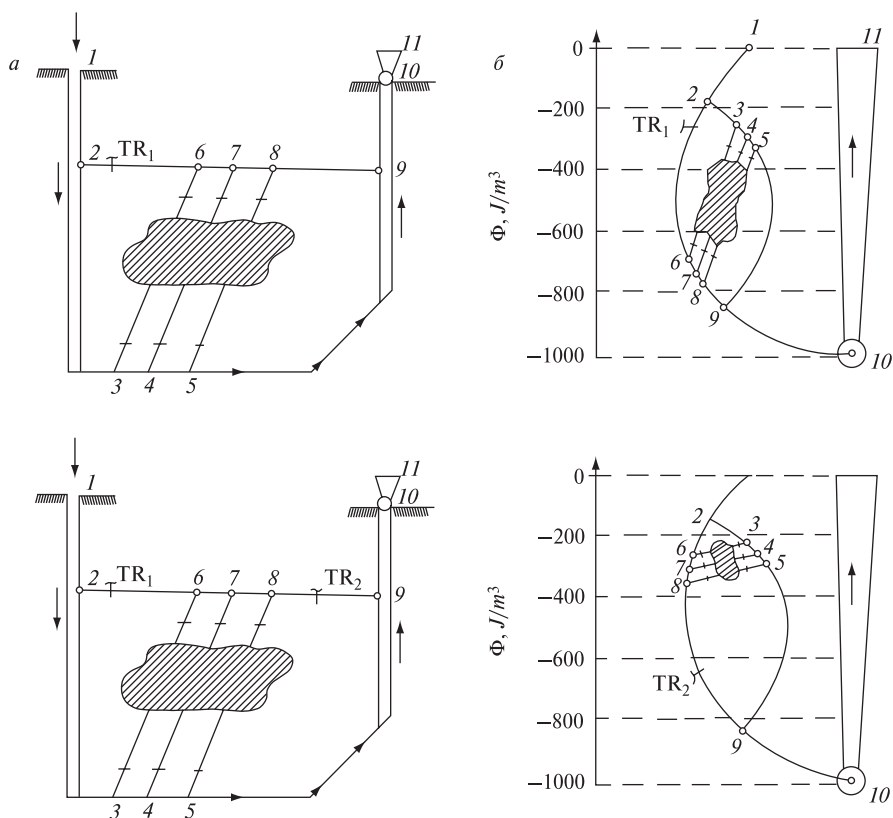


Рис. 8. Распределение поля аэродинамических потенциалов в районе:
а — до выравнивания распределения — положение опасности;
б — после корректировки распределения

Расчет аэродинамических потенциалов осуществляется на основе измерений, выполненных ручными инструментами, которые отличаются значительной неопределенностью результатов вследствие главным образом асинхронности измерения, человеческих ошибок и изменения атмосферного давления во время измерения. Ведение постоянного мониторинга аэродинамических потенциалов исключает такие ошибки и позволяет обновлять потенциальные схемы данного района как в нормальных условиях, так и в опасных ситуациях.

Благодаря современным знаниям о потенциалах и опыту научной работы по созданию приборов был разработан прибор для непрерывного измерения физических параметров воздуха и расчета аэродинамических потенциалов [6] (рис. 9).

Мониторинг опасных мест с точки зрения распределения поля аэродинамических потенциалов обеспечивает точное и быстрое реагирование на любые негативные изменения в состоянии равновесия. Это в свою очередь позволит предотвратить пожар или вытекание из выработанных пространств метана и других опасных газов, что особенно важно в случаях возникновения опасности эндогенного пожара и риска по метану, грозящих загоранием и (или) взрывом метана, обычно приводящих к трагическим последствиям.



Рис. 9. Прибор ТНР-2 для измерения и определения аэродинамического потенциала

Резюме

Современная система мониторинга аэрологических угроз — SMP-NT/A — дает широкие возможности для контроля опасностей в конкретной шахте.

Непрерывный контроль пыли обеспечивает повышение качественной оценки опасности действия вредной пыли и взрывов угольной пыли, а использование математической модели интенсивности осаждения пыли и соответствующие алгоритмы позволяют определить уровень угрозы.

Непрерывное определение индекса замещающей температуры климата позволяет осуществлять полный контроль опасных мест и районов и правильно оценивать уровень тепловой угрозы.

Постоянный мониторинг районов разработки по соседству с выработанными пространствами с точки зрения распределения поля аэродинамических потенциалов позволит принять соответствующие меры для ограничения последствий вентиляционно-газовой опасности и опасности эндогенных пожаров и метана.

Расширение возможностей для непрерывного мониторинга аэрологических параметров опасности по пыли, климату и газу, а также расчетов соответствующих индексов позволит повысить безопасность ведения горных работ в угольный шахтах.

Литература

1. *Dzierżak P., Szwejkowski P., Budziszewski A., Trenczek S.* Ręczny przyrząd do wyznaczenia temperatury zastępczej klimatu. Materiały II Międzynarodowego Kongresu Górnictwa Rud Miedzi, Lubin 16–18.07.2012. Wyd. SITG O/Lubin, 2012. S. 334–340.
2. *Isakow Z., Krzystanek Z., Trenczek Z., Wojtas P.* Integrated System for Environmental Hazards Monitoring in Polish Mining. Materiały 21st World Mining Congress & Expo 2008 – Underground Mine Environment. Wyd. Agencja Reklamowo-Wydawnicza OSTOJA. Kraków, 2008. S. 129–141.
3. *Kabiesz J., Konopko W.* Problemy skojarzonych zagrożeń górniczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Bezpieczeństwo i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1995. Nr 5.
4. *Trenczek S.* Automatyka aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2005. Nr 3.
5. *Trenczek S.* Monitorowanie zagrożeń aerologicznych, a eksploatacja złóż na dużych głębokościach. CUPRUM 2005. Nr 2. S. 49–71.
6. *Trenczek S., Mróz J., Broja A.* Perspektywy rozwoju systemów monitorowania zagrożeń gazowych o pomiaru ciśnienia. Wybrane zagrożenia aerologiczne w kopalniach podziemnych i ich zwalczanie. Praca zbiorowa pod redakcją Nikodema Szlązaka. Wyd. AGH Kraków 2011. S. 143–153.
7. *Trenczek S.* Ocena oraz predykcja poziomu zagrożeń. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko 2011. Nr 1. S. 393–402.
8. *Trenczek S., Wojtas P.* Possibilities of on line measurements in new hazard areas in work environment. Prace Naukowe GIG – 33rd Conference of Safety in Mines Research Institutes. Wyd. GIG, Katowice 2009. S. 255–263.
9. *Trenczek S., Wojtas P.* Rozwój pomiaroznawstwa stosowanego od pomiarów wskaźnikowych do monitorowania i nadzorowania bezpieczeństwa. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały. Nr 32. Wrocław 2006.
10. *Trutwin W.* 1999: Pomiaroznawstwo i monitorowanie wentylacji kopalń. Materiały 1. Szkoły Aerologii Górniczej, Wyd. Centrum EMAG, Katowice.

УДК 622+519.67

С. А. КОЗЫРЕВ,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК, ЗАВ. ЛАБ.
П. В. АМОСОВ,
КАНД. ТЕХН. НАУК, С.Н.С.
(Горный институт КНЦ РАН,
г. Апатиты, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD-МОДЕЛЕЙ

Аннотация. Представлены результаты анализа расчетов на базе компьютерных моделей процесса выноса из выработки газообразных продуктов взрыва при нагнетательном способе проветривания тупиковых выработок при вариации как расстояния от трубопровода до груди забоя, так и расхода подаваемого воздуха.

Ключевые слова: тупиковая выработка, проветривание, численное моделирование.

Summary. The results presented of the calculation analysis based on computer models for blast gas products carry-over out of mine working with blow-in method of blind workings with variation of both pipeline distance to face and supply air consumption.

Keywords: blind working, ventilation, numerical modeling.

Цель исследования

Используя код COMSOL, построить компьютерные модели, позволяющие моделировать процесс проветривания тупиковых выработок после взрывных работ посредством нагнетательного способа проветривания при вариации как расстояния трубопровода до груди забоя, так и расхода подаваемого воздуха.

Постановка задачи

Задача решалась в следующей постановке. Выработка имеет форму прямоугольного параллелепипеда с размерами $105 \times 5 \times 5$ м (площадь поперечного сечения выработки S равна 25 м^2). Трубопровод диаметром 0,9 м (сечение — $0,64 \text{ м}^2$) размещается вдоль правой стенки выработки на высоте 2,5 м

(центр трубопровода). В компьютерной модели трубопровод имеет форму прямоугольного параллелепипеда с сечением для подачи воздуха $0,64 \text{ м}^2$. На рис. 1 представлена принципиальная схема проветриваемой выработки с изображением используемых геометрических объектов.

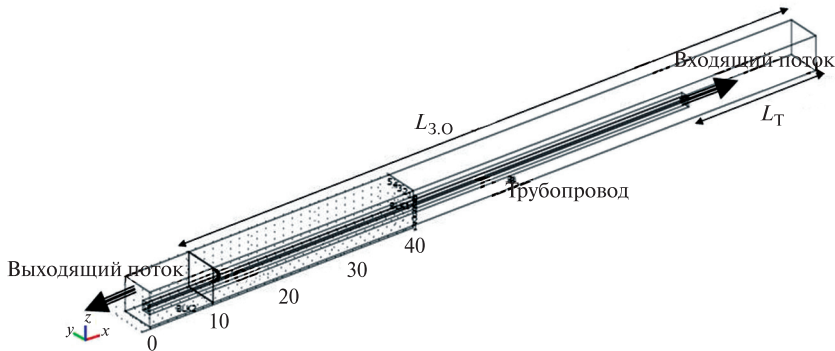


Рис. 1. Компьютерная модель схемы проветривания тупиковой выработки

Начальная концентрация газа по окислам азота в зоне отброса ($L_{з.о} = 95 \text{ м}$) принята равной 1000 ПДК, что соответствует условию одновременного взрыва 300 кг ВВ.

Параметры вариации:

- расстояние от трубопровода до груди забоя $L_Т$: 10; 15; 20; 25 и 30 м;
- расход подаваемого воздуха: 4,47; 8,94; 13,41; 17,88 и 22,35 $\text{м}^3/\text{с}$. Первое указанное значение расхода Q_{\min} соответствует минимальному значению скорости воздуха из трубопровода 7 м/с (только на проветривание от взрывных работ). Остальные значения расходов кратны Q_{\min} .

Методика исследований

Для численного решения поставленной задачи используется следующий подход. На первом этапе рассчитывается стационарное поле скорости, а на втором этапе на известное скоростное поле «накладывается» уравнение конвективно-диффузионного переноса (в данной ситуации имеем дело с пассивной примесью).

Первый этап. Для расчета стационарных полей скорости используется многократно проверенная стандартная ($k - \epsilon$)-модель турбулентности. Данный подход общеизвестен. В нем появляются два дополнительных уравнения, замыкающих известную систему уравнений движения несжимаемой жидкости в приближении Рейнольдса [1, 2].

Осредненные уравнения Рейнольдса записаны в форме документации программного кода COMSOL:

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} - \nabla \left[\left(\eta + \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \right) \left(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T \right) \right] + \rho \vec{u} \nabla \vec{u} + \nabla P = \vec{F};$$

$$\nabla \vec{u} = 0,$$

где ρ — плотность;
 \vec{u} — вектор осредненной скорости;
 t — время;
 ∇ — оператор Гамильтона;
 η — динамическая вязкость;
 C_μ — константа;
 k — энергия турбулентности;
 ε — скорость диссипации турбулентности;
 P — давление;
 \vec{F} — массовые силы.

Для последних двух величин записываются и решаются свои дифференциальные уравнения в частных производных [1, 2]:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} - \nabla \left[\left(\eta + \rho \frac{C_\mu k^2}{\sigma_k \varepsilon} \right) \nabla k \right] + \rho \vec{u} \nabla k = \rho C_\mu \frac{k^2}{2\varepsilon} \left(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T \right)^2 - \rho \varepsilon$$

и

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \nabla \left[\left(\eta + \rho \frac{C_\mu k^2}{\sigma_\varepsilon \varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \rho \vec{u} \nabla \varepsilon = \rho C_{\varepsilon 1} \frac{k}{2} \left(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T \right)^2 - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}.$$

Второе слагаемое в круглых скобках левой части нестационарных уравнений представляет собой коэффициент турбулентной динамической вязкости: $\eta_t = \rho \frac{C_\mu k^2}{\sigma_\varepsilon \varepsilon}$.

Константы, приведенные в уравнениях, систематизированы ниже [1, 2]:

$$C_\mu = 0,09; C_{\varepsilon 1} = 0,1256; C_{\varepsilon 2} = 1,92; \sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,3.$$

Граничные условия типичные для подобных задач [1, 2]:

- на входной границе (трубопровод): $\vec{u} = (u_0, 0, 0)$, $k = k_0$ и $\varepsilon = \varepsilon_0$ (приток);
- на выходной границе (сечение выработки): $\vec{n} \nabla k = 0$ и $\vec{n} \nabla \varepsilon = 0$ (нейтральный поток);
- на стенках выработки «работают» соотношения:

$$U = \left(\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y u_\tau}{\nu} \right) + \text{const} \right) u_\tau, \quad k = u_\tau^2 / \sqrt{C_\mu}, \quad \varepsilon = \frac{u_\tau^3}{\kappa \nu},$$

$$u_\tau = \sqrt{\tau_w / \rho}, \quad \tau_w = \frac{\rho C_\mu k^2}{\varepsilon} \frac{\partial U}{\partial n},$$

где κ — постоянная Кармана;
 ν — кинематическая вязкость.

Значения плотности и кинематической вязкости, потребляемые программным продуктом, стандартные для температуры около 20 °С, т.е. 1,3 кг/м³ и 2 · 10⁻⁵ м²/с соответственно.

Для достижения стабильного результата в качестве начальных условий использовались ненулевые значения моделируемых физических величин. Для выполнения расчетов использовались разнообразные сетки, доступные в программном комплексе COMSOL. Основным решателем стационарной задачи (посредством тестовых попыток) был выбран метод GMRES (метод обобщенной минимальной невязки).

Второй этап. Основное управляющее уравнение конвективно-диффузионного переноса, используемое в коде COMSOL, является стандартным [1, 2]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(-D\nabla C + C\vec{u}) = R,$$

где C — концентрация примеси;

D — коэффициент диффузии;

R — член, описывающий генерацию примеси (в нашем случае принят равным нулю).

Отдельного пояснения требует описание коэффициента диффузии. Поскольку физически коэффициент диффузии является функцией пространственных переменных, а в уравнении конвективно-диффузионного переноса коэффициент диффузии принят постоянным, то предложена следующая процедура для его определения:

$$D = \frac{[\eta_t]}{\rho\sigma_t} = \frac{C_\mu}{\sigma_\varepsilon} \frac{k^2}{\varepsilon\sigma_t},$$

где $[\eta_t]$ — среднее значение коэффициента турбулентной динамической вязкости вдоль центральной продольной оси выработки:

$$[\eta_t] = \frac{1}{L_x} \int_0^{L_x} \eta_t(x; 2,5; 2,5) dx;$$

σ_t — турбулентное число Прандтля — Шмидта, которое в случае пространственных течений принимает значение 0,72 [2].

Напомним, что в качестве начального загрязнения принята загазованность в зоне отбросов на уровне 1000 ПДК. Поскольку «работаем» с пассивной примесью, на границах со стенками выработки используется стандартное условие: $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$, а на выходной границе условие конвективного потока: $\vec{n}(-D\nabla C) = 0$, предполагающее, что вся масса, пересекающая границу, уходит посредством конвекции.

Решателем нестационарной задачи массопереноса выбран метод UMFPACK (высокоэффективный прямой решатель).

Анализ результатов

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице, в которой отражены прогнозные значения времени достижения нормативных условий безопасности по окислам азота. Расчетные данные приведены в табл. 1 с указанием значений варьируемых параметров.

Таблица 1

Прогнозные значения времени достижения уровня 1 ПДК по окислам азота, мин

Расход, м ³ /с	Расстояние до груди забоя L_r , м				
	10	15	20	25	30
4,47	~17	~37	~92	~215	~350
8,94	~9	~21	~53	~85	~134
13,41	~5	~13	~23	~74	~122
17,88	~4	~9	~16	~51	~84
22,35	~3	~6	~10	~29	~46
23,60					~30

Если ориентироваться на максимальное нормативное время проветривания 30 мин, то, как видно из представленных в таблице результатов, достижение уровня 1 ПДК по окислам азота при увеличении расстояния до груди забоя обеспечивается за счет роста расхода воздуха. В таблице затенены клетки, отвечающие выполнению указанного выше условия.

Помимо расчета времени достижения нормативно безопасной обстановки в выработке построенные компьютерные модели позволяют визуализировать процесс проветривания как в пространстве, так и во времени. В качестве иллюстраций, позволяющих убедиться в адекватности моделирования процессов проветривания, приведем следующий пример.

На рис. 2 показано пространственное распределение загрязнения вдоль центральной продольной оси X на фиксированные моменты времени для расстояния до груди забоя, равного 15 м. Расход воздуха в приведенных примерах соответствует следующим значениям: а) 4,47 м³/с; б) 13,41 м³/с; с) 22,35 м³/с. В легенде рис. 2 отображены числа, которые указывают на время проветривания (мин), что позволяет при необходимости анализировать динамику процесса проветривания.

Приведенная иллюстрация позволяет наглядно отразить во времени процесс достаточно быстрого выдавливания загазованной атмосферы из зоны отбросов. Естественно, что увеличение расхода подаваемого воздуха приводит к существенному сокращению процесса проветривания. Например, при минимальном расходе воздуха (см. рис. 2а) к моменту времени 7 мин наблюдаем ситуацию, когда уровень загрязнения в зоне отбросов существенно превышает нормативный. Причем более «грязным» оказывается район на выходе из выработки. Увеличение минимального

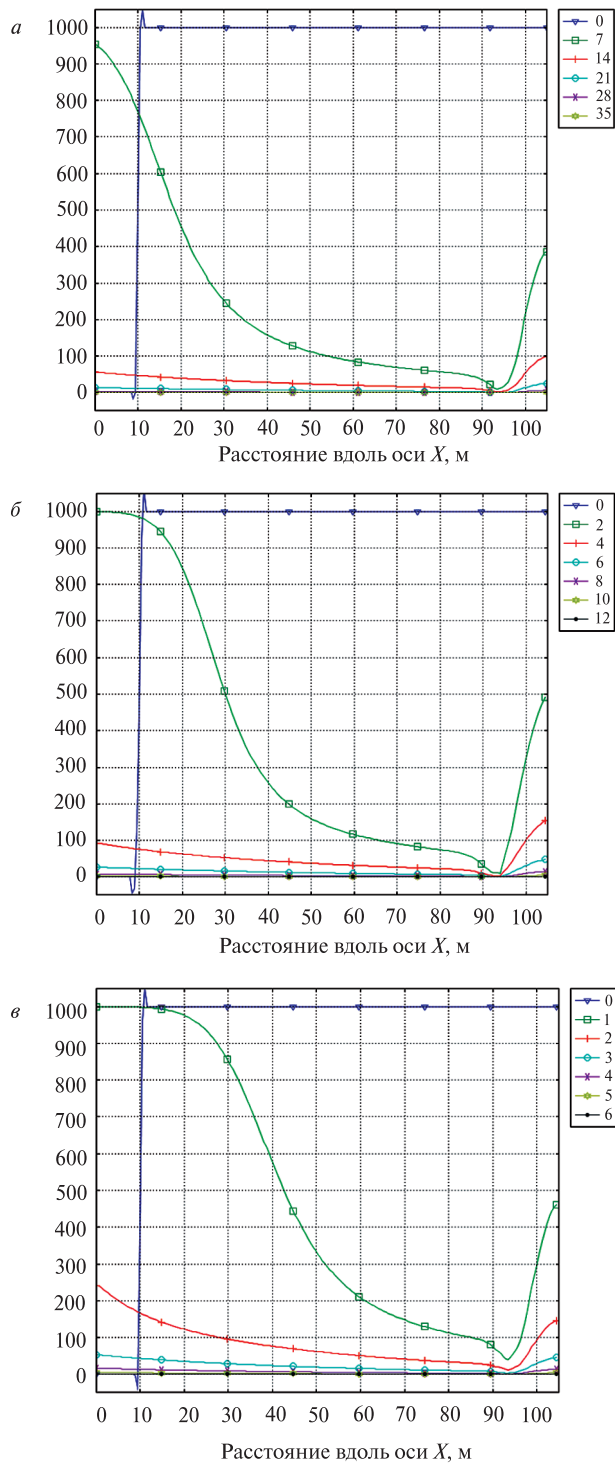


Рис. 2. Пространственное распределение загрязнения вдоль центральной продольной оси X для расстояния до груди забоя 15 м при вариации расхода: $a - 4,47 \text{ м}^3/\text{с}$; $b - 13,41 \text{ м}^3/\text{с}$; $v - 22,35 \text{ м}^3/\text{с}$

расхода в 3 раза (см. рис. 2б) к указанному моменту времени обеспечивает ситуацию существенно более «мягкую» по уровню загрязнения, но еще недостаточную по нормативным требованиям. Использование же максимального значения расхода воздуха (см. рис. 2в) убедительно свидетельствует, что выработка очистилась, причем, как это видно из данных таблицы, для этого достаточно уже примерно 6 мин.

Выводы

Таким образом, можно констатировать следующее.

На базе кода COMSOL созданы компьютерные модели, позволяющие исследовать процессы проветривания тупиковых выработок при проведении взрывных работ посредством нагнетательного способа проветривания при вариации следующих технологических параметров: расстояния от трубопровода до груди забоя и расхода подаваемого воздуха.

Для принятых в работе исходных данных по параметрам выработки, количеству и виду взрываемого ВВ, типу анализируемой примеси (окислы азота) и вариации расстояния от трубопровода до груди забоя и расхода подаваемого воздуха доказана возможность выполнения прогнозных оценок времени достижения безопасных условий труда горнорабочих (уровень 1 ПДК по окислам азота).

Созданные модели позволяют выполнять прогнозные расчеты процессов выноса из выработки не только газообразных продуктов, но и пыли, т.е. есть возможность учесть скорость оседания разномасштабной примеси.

Литература

1. *Бакланов А. А.* Численное моделирование в рудничной аэрологии. Апатиты: КФАН СССР, 1988. 200 с.
2. *Калабин Г. В.* Метод расчета аэрогазодинамики плоских камерообразных выработок на основе математического моделирования / Г. В. Калабин, А. А. Бакланов, П. В. Амосов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1990. № 1. С. 74–88.

УДК 622.416+622.45

С. А. КОЗЫРЕВ,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК, ЗАВ. ЛАБ.
А. В. ОСИНЦЕВА,
КАНД. ТЕХН. НАУК, С.Н.С.
(Горный институт КНЦ РАН,
г. Апатиты, Россия)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В РУДНИКЕ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Аннотация. Рассмотрен метод решения актуальной задачи регулирования потоков воздуха в подземном руднике. Представлены основные особенности реализации комплексного подхода к оптимизации вентиляционных сетей подземных рудников в системе автоматизированного проектирования вентиляционных систем.

Ключевые слова: подземный рудник, вентиляционная сеть, проветривание, регулирование потоков воздуха, численное моделирование.

Summary. The method has been considered of a critical task solution to regulate air flows in an underground mine. The basic features have been presented of the complex method to optimize ventilation systems for underground mines in a system of automated ventilation systems designing.

Keywords: underground mine, ventilation system air supply, air flow regulation, numerical modeling.

С углублением горных работ управление вентиляцией рудника усложняется. Подаваемый в рудник воздух по выработкам и очистным блокам распределяется неравномерно, чему способствует весьма сложная и сильно разветвленная сеть горных выработок, особенно в случаях одновременной отработки нескольких этажей. Обычно для регулирования распределения воздуха используют местные регуляторы — вспомогательные вентиляторы и вентиляционные окна. Однако размещение регулирующих устройств в сети выработок далеко не всегда оказывается достаточно эффективным для решения задачи правильного распределения воздуха в рудничной вентиляционной сети и приводит к образованию застойных зон или, напротив, резкому увеличению скорости воздуха и превышению предельных по требованиям техники безопасности значений в отдельных выработках.

Для отработки новых горизонтов требуется пересматривать схемы вентиляции горных работ, учитывая связь вентиляционной сети и взаимосвязи вентиляционных параметров разных выработок.

Современные возможности вычислительной техники позволяют ставить задачи по проведению сложных процедур многокритериальной оптимизации вентиляционной сети, традиционно решаемых проектировщиками преимущественно на основе эмпирических подходов.

Усложняют процесс регулирования вентиляционной сети следующие факторы:

- наличие зон обрушения, через которые происходят утечки воздуха;
- многодиагональные соединения выработок сложной конфигурации;
- работающие на сеть вентиляторы главного, вспомогательного и местного проветривания, создающие нестабильность при регулировании распределения воздуха и риск опрокидывания струи;
- действие естественной тяги.

Особенно сложным вопросом является определение устойчивости и эффективности проветривания в сложных многодиагональных соединениях, так как зачастую очистные выработки, требующие максимально устойчивой и надежной подачи воздуха, представляют собой многочисленные диагонали.

Регулирование воздушных потоков в вентиляционной системе рудника с помощью местных регуляторов — перемычек различных типов и вспомогательных вентилирующих устройств — позволяет организовать оптимальное распределение воздуха внутри сети выработок и обеспечить добычные участки необходимым по санитарным нормам количеством свежего воздуха.

Вопросам регулирования воздухораспределения в вентиляционных сетях рудников посвящено значительное число работ, среди которых можно выделить труды А. Д. Вассермана, С. П. Алехичева, Г. В. Калабина, Ф. А. Абрамова, В. А. Бойко, Р. Б. Тяна, А. А. Потемкина, А. Г. Евдокимова, А. А. Мясникова, Г. К. Рязанцева, Е. Г. Давыдова [1–3].

Анализ теоретических исследований и разработанных программных продуктов в этой области показал, что проблема оптимизации размещения регуляторов в протяженной вентиляционной сети рудника решена не полностью и остается важной научно-технической задачей.

Существующие методы регулирования распределения воздуха в сети обладают рядом недостатков, не позволяющих применять их для автоматизации процесса принятия решений по выбору мест расположения, типам и параметрам регуляторов для сложных вентиляционных сетей при комбинированном способе проветривания. Очевидно, что в наиболее общей постановке задача регулирования воздухораспределения в рудничной вентиляционной сети является сложной и решение ее в аналитическом виде не представляется возможным.

Разработанные теоретические методы решения данной проблемы, как и практически реализованные алгоритмы, недостаточно надежно учитыва-

ют взаимное влияние регуляторов, установленных в разных выработках разветвленной сети. Нелинейность математической модели системы объясняет сложность решения задачи оптимизации обычными методами.

В последние годы в Великобритании, США и Китае разрабатывается программное обеспечение для решения задачи оптимального расположения регуляторов в сети на основе применения в данной предметной области генетических алгоритмов с целью преодолеть проблемы, связанные с одно-временным анализом влияния на сеть большого количества регуляторов, параметры которых варьируются в широком диапазоне. В 1998–2005 гг. в Великобритании была разработана первая программа оптимизации вентиляционных систем с помощью генетических алгоритмов [4]. Исследование расположения пассивных регулирующих устройств авторами не производилось. Полученные результаты показывают интересные перспективы приложения генетических алгоритмов к решению задачи регулирования.

В работе представлены основные особенности реализации комплексного подхода к оптимизации вентиляционных сетей подземных рудников в системе автоматизированного проектирования вентиляционных систем (САПР ВС), разработанной в Горном институте КНЦ РАН. Оптимизация вентиляционной системы производится в системе автоматизированного проектирования как поэтапное решение задач моделирования вентиляционной системы, анализа вариантов регулирования воздушных потоков в ней, выбора оптимальных топологических схем и параметров регуляторов [5].

Для оптимизации количества регуляторов и вариантов их расстановки предлагается использовать генетические алгоритмы — относительно новое направление математических методов, используемых в настоящее время как в России, так и в других странах. Приложение генетического алгоритма к данной задаче оптимизации осуществлено на основе анализа взаимосвязи параметров сети — депрессии и расходов воздуха в различных выработках по основным направлениям. Основными параметрами оптимизации являются сопротивления перемычек и депрессии вентиляторов. В качестве критериев оптимизации выбраны: критерий, учитывающий суммарную невязку расходов воздуха в заданных ветвях, и критерий, учитывающий мощность, затрачиваемую на проветривание.

Определение эффективных вариантов регулирования осуществляется с помощью анализа взаимосвязи параметров вентиляции. В основу матриц взаимосвязи положен коэффициент взаимосвязи, который характеризует степень влияния изменения потока воздуха в одной ветви на расход воздуха в другой ветви. Анализ взаимосвязи параметров вентиляции представляет ценность как предварительная оценка и поиск наиболее эффективных вариантов расположения регуляторов в ветвях вентиляционной системы.

Множество регулируемых ветвей составляют ветви сети, в которых отмечен установленный регулятор, указаны его тип (вентилятор главного проветривания, вспомогательный вентилятор, перемычка) и параметры (депрессия и напор вентилятора, сопротивление и площадь окна перемыч-

ки), а также пользователем указана возможность изменения параметров. Например, для установленной глухой изолирующей перемычки сопротивление не может быть изменено, поэтому соответствующую ветвь не стоит относить к множеству регулируемых ветвей.

Наиболее интересным аспектом разработанного метода, принципиально отличающим его от других методов решения данной задачи, является возможность включения в совокупность регулируемых ветвей тех выработок, в которых потенциально могут быть установлены вентилятор или вентиляционное сооружение. При этом для них может быть сразу указан тип регулятора, а может быть отмечен свободный выбор типа программным путем. По мере увеличения множества регулируемых ветвей увеличивается матрица взаимосвязи параметров сети и число сгенерированных программой вариантов, поэтому грамотный начальный выбор потенциальных мест регулирования сети может значительно повлиять на успешность и эффективность решения задачи.

Для любой ветви сети, отмеченной как «регулируемая», могут быть заданы предельные значения параметра — депрессии (для вентилятора), сопротивления (для перемычки). Заданные граничные значения будут использованы на этапе подбора конкретных параметров для выбранного варианта регулирования. Грамотное ограничение области изменения значений параметров для разных выработок может значительно ускорить процесс подбора и сделать его эффективнее. Сама процедура подбора значений параметров с помощью генетического алгоритма требует задания предельных значений сопротивления и депрессии, поэтому в том случае, если не заданы границы для отдельных ветвей, будут учтены только общие для всех ветвей граничные значения. Результатом работы алгоритма в этом случае может стать набор практически недостижимых значений параметров.

Применение генетического алгоритма для оптимизации параметров регуляторов воздухораспределения обусловлено необходимостью найти конкретное практическое решение задачи регулирования. В результате анализа взаимосвязи параметров вентиляционной сети находится список вариантов размещения регуляторов в системе, отсортированный по эффективности, и отсортированный список регулируемых ветвей. Дальнейшее решение задачи регулирования направлено на поиск конкретных параметров регуляторов для выбранного варианта, отвечающих тем или иным критериям оптимизации.

Для решения задачи поиска оптимальных параметров регуляторов применяется стандартный генетический алгоритм. Кратко суть алгоритма заключается в последовательной рекомбинации битовых строк («хромосом»), в которых закодированы оптимизируемые параметры, с учетом вероятности выгоды варианта такого регулирования, определяемой по представленным выше критериям. Варианты, позволяющие добиться лучшего значения критерия оценки, с большей вероятностью комбинируются между собой, что позволяет на некоторой итерации («поколении») сгенерировать вариант регули-

рования, дающий хорошие значения критерия оптимизации. При реализации алгоритма было решено предусмотреть возможность выбора пользователем программы минимизируемого критерия из числа установленных критериев: минимальной суммарной невязки по заданным ветвям с учетом интервального ограничения, минимальной полезной мощности или взвешенного критерия. Наиболее интересные результаты были получены при выборе критерия минимальной суммарной невязки потоков воздуха и последующей оценке мощности, затрачиваемой на проветривание.

На рис. 1 представлен график зависимости суммарной невязки расходов воздуха по заданным ветвям от номера итерации («поколения») генетического алгоритма при поиске оптимальных значений параметров регуляторов для вентиляционной системы рудника «Олений ручей». Хорошая сходимость к нулю позволяет судить об успешности регулирования потоков воздуха в сети с помощью регуляторов, параметры которых найдены генетическим алгоритмом. Таким образом, приложение генетического алгоритма к решению задачи регулирования распределения воздуха в вентиляционной системе помогает разрешить проблему перебора большого количества возможных значений параметров регуляторов с учетом нескольких критериев оптимальности.

Разработанный метод, в основу которого положен итерационный процесс применения анализа взаимосвязи параметров вентиляции и генетиче-

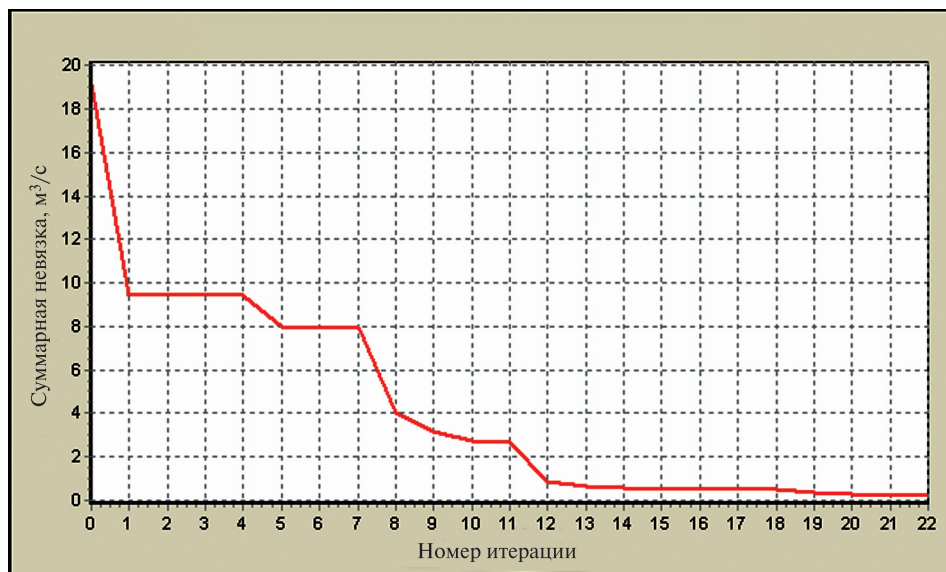


Рис. 1. График зависимости невязки расходов воздуха от номера итерации для вентиляционной системы рудника «Олений ручей»

ского алгоритма с оценкой результатов на каждом этапе пользователем, способствует гибкому регулированию распределения воздуха в сети.

Результаты апробации предложенного метода говорят о достаточной надежности и гибкости метода при тестировании на небольших вентиляционных сетях. Данный подход применим для оценки вариантов оптимизации вентиляционных систем на различных стадиях проектирования.

Литература

1. Тяг Р. Б. Управление проветриванием шахт / Р. Б. Тяг, В. Я. Потёмкин. Киев: Наукова думка, 1977.
2. Вассерман А. Д. Проектные обоснования параметров вентиляции рудников и подземных сооружений. Л.: Наука, 1974.
3. Давыдов Е. Г. Метод пропорциональных поясных сопротивлений для расчета заданного распределения воздуха в вентиляционных сетях / Е. Г. Давыдов, Р. И. Габайдуллин, А. М. Чеховских // Изв. вузов. Горный журнал. 1992. № 2.
4. Lowndes I. S. The application of genetic algorithms to optimize the performance of a mine ventilation network: the influence of coding method and population size / I. S. Lowndes, T. Fogarty, Z.Y. Yang // Soft Comput. 2005. № 9.
5. Осинцева А. В. Обоснование эффективных вариантов регулирования вентиляции подземного рудника и оптимизации параметров регуляторов посредством генетического алгоритма / А. В. Осинцева, С. А. Козырев // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14. № 3.

УДК 622.411

Г. И. КОРШУНОВ,
докт. техн. наук
В. Н. БОБРОВНИКОВ,
докт. техн. наук
А. М. СУФИЯРОВ,
аспирант

(Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

О РАЗВИТИИ ВЕНТИЛЯЦИИ И ДЕГАЗАЦИИ НА ШАХТАХ ВОРКУТЫ

Аннотация. В статье изложен опыт, накопленный более чем за полвека в области вентиляции и дегазации шахт Воркуты. Отмечено, что представленные научно-технические решения применимы и в условиях других угольных шахт России и мира и позволяют обеспечить безопасные по газовому фактору условия ведения горных работ.

Ключевые слова: вентиляция, дегазация, шахты Воркуты, метан, метанобезопасность.

Summary. The article describes the experience of more than half a century in the field of ventilation and draining out of gases of mines of Vorkuta. Presented scientific and technical solutions applied in other coal mines in Russia and the world, that secures the gas factor conditions of mining.

Keywords: ventilation, draining out of gases, mines of Vorkuta, methane, safety methane.

Как известно, главными методами и средствами борьбы с газом в метанообильных угольных шахтах являются методы и средства вентиляции и дегазации, поэтому уровень развития этих важнейших областей горного дела определяет и уровень метанобезопасности угледобывающего производства [1]. Проблема создания безопасных по газовому и пылевому фактору условий ведения горных работ на угольных шахтах России и других угледобывающих стран мира остается и в настоящее время очень острой. Сложность решения этой проблемы резко возрастает по мере ухудшения горно-геологических условий ведения горных работ, что связано с ростом глубины ведения работ, природной метаносности угольных пластов, уровня выбросо- и удароопасности горного массива и другими негативными факторами [2]. Так, шахты, обрабатывающие Воркутское месторождение, достигли уже глубины 1000–1100 м, природная метаносность угольных пластов на этих глубинах достигла величины 25–30 м³/т, абсолютная метанообильность выемочных участков этих шахт доходит до уровня

80–100 м³/мин, относительная — 70–80 м³/т и более. Абсолютная метанообильность шахты «Северная» ОАО «Воркутауголь» еще в конце 80-х гг. прошлого века, когда шахта работала с наивысшей своей производственной мощностью — около 2,7 млн т угля в год, — достигала 300 м³/мин. Близка к этому уровню была и метанообильность шахты «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь».

Необходимость применения эффективных методов управления газовой выделением, в том числе и промышленной дегазации угольных пластов, на шахтах Воркутского месторождения назрела к 1955–1956 гг. Высокое метановыделение на добычных участках по пластам «Первый», «Двойной» и «Тройной» стало сдерживающим фактором в развитии системы горных работ, поэтому в 1956 г. на шахте № 40 (поле нынешней шахты «Воркутинская») была введена в действие опытная установка по отсосу метана из выработанного пространства через скважины в лаве по пласту «Первый». Затем скважины были пробурены на подрабатываемые пласты m_4 , m_5 и Надпервый при отработке пласта «Тройной».

Эффективность дегазационной установки была отмечена уже в первые месяцы ее работы: газовыделение в лаве снижено на 30–40% при неизменном количестве подаваемого в забой воздуха; добыча угля возросла на 25–30%, прекратились простои лав, вызываемые загазированием выработок в период посадки пород основной кровли.

В конце 1957 г. на северном крыле шахты № 40 была введена в действие вторая дегазационная установка для извлечения метана из подрабатываемых пластов на выемочном участке пласта «Тройной».

Опытно-промышленные работы по дегазации сближенных пластов и выработанного пространства действующих очистных забоев указали на необходимость развития дегазации на шахтах Воркутского месторождения.

От начала опытных работ по дегазации шахт (1956 г.) до настоящего времени, когда дегазация является неотъемлемым технологическим процессом в отработке угольных пластов, можно выделить три периода развития дегазации. Такое разделение можно отнести и к вентиляции шахт Воркуты.

Первый период характерен отработкой угольных пластов длинными столбами, разделенными целиками угля (рис. 1 и 2). В этот период получили развитие схемы дегазации сближенных угольных пластов скважинами, пробуренными из откаточных и вентиляционных штреков при отработке пластов в пределах горизонта одной лавой, и дегазация разрабатываемых пластов. Эффективность дегазации по выемочному участку достигала 50–70%.

При панельной подготовке горизонта и столбовой системе разработки угольных пластов дегазационные скважины на подрабатываемые пласты закладывались из выработок выемочного участка с ориентированием скважин навстречу лаве (см. рис. 2). При такой схеме эффективность дегазации подрабатываемых пластов составляла 20–35%. Способ неэкономичен, так как скважины прекращали свою работу с подходом забоя лавы к дегазационной камере и погашением выработки. Объем бурения скважин был в 3–5 раз больше, чем при первой схеме.

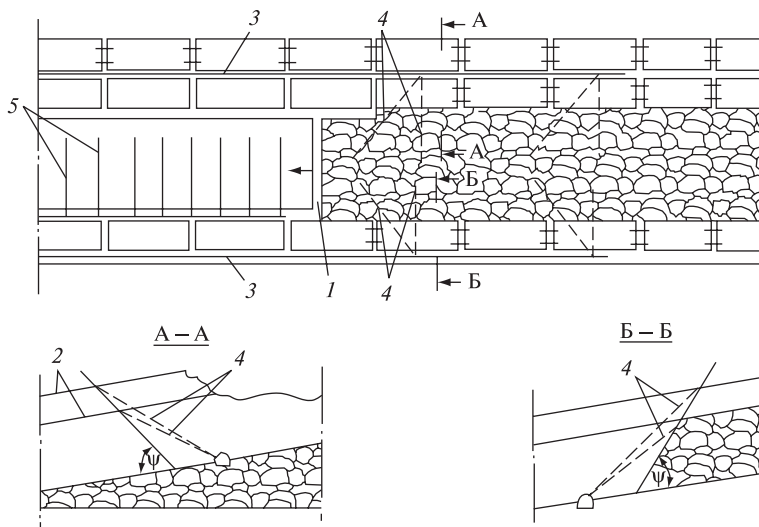


Рис. 1. Схема дегазации угольных пластов на выемочных участках с охраной выработок целиками угля:

1 — очистной забой; 2 — сближенные подрабатываемые пласты;
 3 — дегазационный трубопровод; 4 — скважины, пробуренные на сближенные пласты;
 5 — пластовые скважины

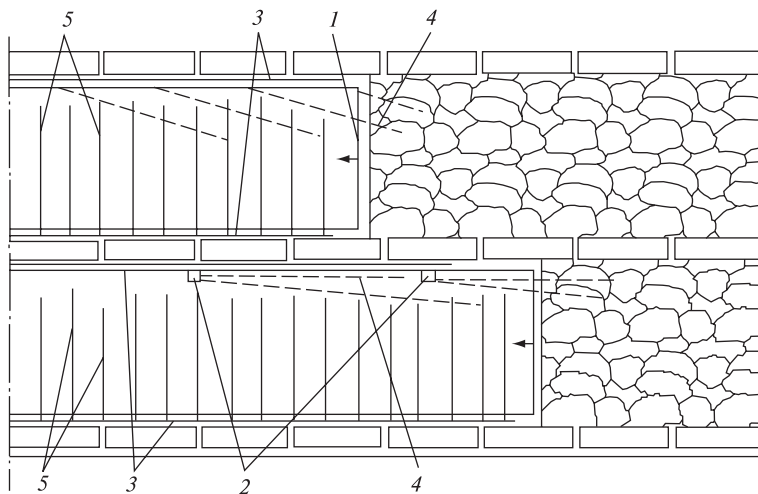


Рис. 2. Схема дегазации пласта и выработанного пространства на участках с погашением выработок за лавой:

1 — очистной забой; 2 — дегазационная камера; 3 — дегазационный трубопровод;
 4 — скважины, пробуренные над куполом обрушения пород; 5 — пластовые скважины

В первый период развития вентиляции и дегазации шахт Воркуты активно применялись схемы проветривания выемочных участков с последовательным разбавлением метана по источникам его выделения.

Второй период развития дегазации и вентиляции начался с внедрением бесцеликовой технологии отработки угольных пластов по столбовой системе и поддержанием выработки за лавой на границе «массив — выработанное пространство». Открылись широкие возможности проветривания выемочных участков по прямоточной схеме с подсыжением исходящей струи и выпуском ее на фланговую вентиляционную выработку.

Наличие фланговых выработок и бремсбергов (уклонов) позволило бурить из них дегазационные скважины на сближенные пласты в направлении выработанного пространства и обеспечить их продуктивную работу на период отработки крыла панели (рис. 3). При этой схеме обеспечивалась дегазация подрабатываемых пластов и выработанного пространства на действующих и ранее отработанных площадях (ярусах). Такая схема расположения скважин получила название «схема фланговой дегазации».

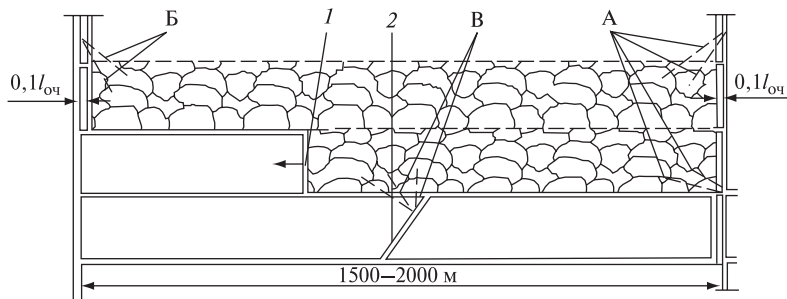


Рис. 3. Схема дегазации сближенных пластов с использованием фланговых скважин:
1 — очистной забой; 2 — диагональная выработка

В течение 1973–1978 гг. схема фланговой дегазации широко применялась как при панельном, так и при погоризонтном (этажном) способе подготовки пластов угля, отрабатываемых столбами длиной 1000–1300 м по простиранию или падению. По мере увеличения длины выемочных столбов до 2000–2200 м и с ростом нагрузки на очистной забой более 1000 т/сут. эффективность фланговой дегазации снижалась.

Дегазационные скважины типа В, пробуренные из сбоек подготавливаемого выемочного столба, не всегда удавалось своевременно включать в работу из-за несвоевременного проведения выработок и отставания в развитии дегазационных сетей.

Характерной особенностью дегазационных скважин типа А, Б, В является охрана их устьев целиками угля, что обеспечивало герметизацию трубного пространства скважин цементным раствором. Наличие поддерживаемой за лавой выработки для исходящей струи воздуха способствовало

избыточному притоку метана в нее из выработанного пространства и возможности оптимального расположения дегазационных скважин на границе «массив — выработанное пространство».

Участковые дегазационные скважины (рис. 4) стали необходимыми на длинных выемочных полях с комплексно-механизированными забоями. Сложностью в их реализации явилась герметизация скважин в краевой части обрушения пород на границе «угольный массив — выработанное пространство». В итоге такое инженерное решение было найдено в виде способа герметизации затрубного пространства в скважине путем заполнения его породой, образующейся в процессе бурения скважины (способ шламования). В результате отпала необходимость в охране устьев скважин целиками угля, бутовыми полосами или кострами, как это делалось ранее.

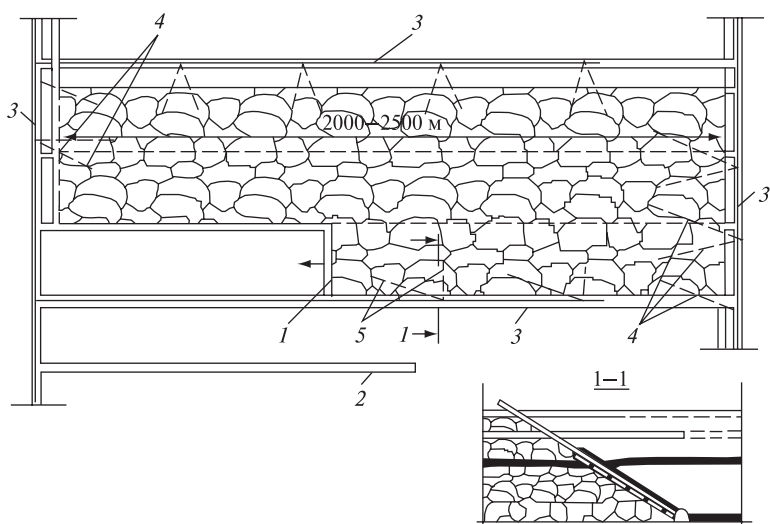


Рис. 4. Схема дегазации выемочного поля с использованием фланговых и участковых скважин:

- 1 — очистной забой; 2 — подготовительная выработка;
- 3 — дегазационный трубопровод; 4 — фланговые скважины;
- 5 — скважины, пробуренные из участковой выработки

Эффективность дегазации подрабатываемых пластов при таком способе доведена до 80–90%. Наличие дегазационных трубопроводов в поддерживаемой выработке открыло возможность развития дегазации надрабатываемых пластов.

Третий период развития вентиляции и дегазации шахт Воркуты начался в конце 90-х гг. XX в., когда произошел переход в усложнившихся горно-геологических условиях ведения горных работ к многострековой подготовке выемочных столбов [3]. Этот период, продолжающийся и в настоящее время, характеризуется применением как прямоточной с подсвеже-

нием, так и комбинированной схемы проветривания выемочного участка, а также дальнейшим совершенствованием схемы дегазации «по контуру выработанного пространства».

Таким образом, более чем за полувековой период интенсивного развития вентиляции и дегазации шахт Воркуты накоплен огромный опыт, прежде всего в области управления газовым режимом метанообильных угольных шахт, что имеет очень существенное значение для решения важнейшей проблемы обеспечения полной метанобезопасности угольных шахт России [4].

Литература

1. *Бобровников В. Н.* Формирование требований к параметрам системы газуправления на высокометанообильных выемочных участках шахт ОАО «Воркутауголь» / В. Н. Бобровников, Н. Б. Калинин, А. А. Эннс // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 5 «Аэрология». М.: МГГУ, 2008. С. 270–275.
2. *Бобровников В. Н.* Особенности формирования газового режима выемочных участков глубоких горизонтов шахт ОАО «Воркутауголь». / В. Н. Бобровников, В. А. Зуев, Ю. М. Погудин // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 6 «Безопасность». М.: МГГУ, 2008. С. 272–278.
3. *Бобровников В. Н.* Опыт снижения газообильности выемочных участков при разработке высокогазоносных угольных пластов Воркутского месторождения / В. Н. Бобровников, В. А. Зуев // Там же. С. 284–289.
4. *Бобровников В. Н.* Условия ведения горных работ на метанообильных выемочных участках глубоких горизонтов шахт ОАО «Воркутауголь» / В. Н. Бобровников, В. А. Зуев // Там же. С. 279–283.

ПРИНЦИПЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ ГИМРИНСКОГО АВТОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

Аннотация. Установлены факторы, влияющие на выбор аварийных режимов вентиляции Гимринского автодорожного тоннеля. Показано, что управление распределением воздуха по крыльям тоннеля относительно места расположения очага пожара может быть обеспечено с помощью осевых вентиляторов у порталов сервисного тоннеля и струйных вентиляторов. Определены пути безопасной эвакуации и дымоудаления при различных сценариях развития пожара. Разработанные технические решения предложено использовать при модернизации вентиляции Гимринского тоннеля.

Ключевые слова: вентиляция, продольная схема, естественная тяга, струйные вентиляторы, пожар, аварийные режимы.

Summary. Factors affecting the choice of emergency ventilation modes at the Gimrinsky road tunnel had been established. It is shown that air distribution in the tunnel wings can be controlled with axial fans at the service tunnel portals and jet fans. Ways of the safe evacuation of people have been determined as well as the direction of smoke removal in different situations of fire propagation. It is offered to introduce the developed technical solutions to upgrade ventilation of the Gimrinsky road tunnel.

Keywords: ventilation, the longitudinal scheme, natural draft, jet fans, fire, emergencies modes.

Условные обозначения

- g — ускорение свободного падения, м/с²;
 $h_{e.т}$ — депрессия естественной тяги, Па;
 $h_{г.т}$ — гравитационная составляющая депрессии, Па;
 $h_{б.т}$ — барометрическая составляющая депрессии, Па;
 $H_{с.1}$ — высота приземного слоя атмосферы, м;
 P — атмосферное давление, кПа;
 $P_{ю.п}$ — атмосферное давление на южном портале, кПа;
 $P_{с.п}$ — атмосферное давление на северном портале, кПа;
 $P_{с.1}$ — атмосферное давление на высоте приземного слоя атмосферы, кПа;
 t — температура атмосферного воздуха, °С;
 $t_{ю.п}$ — температура атмосферного воздуха у южного портала, °С;

- $t_{с.п}$ — температура атмосферного воздуха у северного портала, °С;
 $H_{ю.п}$ — высотная отметка южного портала, м;
 $H_{с.п}$ — высотная отметка северного портала, м;
 δt — повышение температуры воздуха в тоннеле зимой и снижение температуры воздуха летом, вычисленное с учетом теплообмена с породами и тепловыделений от транспорта, °С;
 σ — влажноадиабатический градиент температуры в атмосферном воздухе, °С/100 м;
 Q — расход воздуха, м³/с;
 $N_{jв}$ — импульс силы струйного вентилятора, Н;
 F_T — сечение тоннеля, м².
 $v_{вых}$ — скорость воздушного потока на выходе из струйного вентилятора, м/с.

Введение

Гимринский железнодорожный тоннель протяженностью 4,3 км расположен в горной части Республики Дагестан на высоте более 1100 м. Первоначальная задача Гимринского тоннеля, сооружение которого началось в 1979 г., заключалась в транспортном обслуживании строительства Ирганайской гидроэлектростанции. Впоследствии было решено использовать тоннель в качестве транспортной выработки, связывающей девять районов горного Дагестана с центральной частью Республики. Тоннель был полностью сдан в эксплуатацию только в октябре 2012 г.

Тоннельные выработки включают: собственно транспортный тоннель; сервисный тоннель, пройденный параллельно транспортному тоннелю; вентиляционные сбойки между ними, вентиляционные камеры на южном и северном порталах сервисного тоннеля, в которых установлены осевые вентиляторы. В тоннеле осуществляется движение транспортных средств по двум полосам движения в противоположных направлениях.

Первоначальный проект вентиляции предполагал использование продольно-поперечной схемы проветривания с подачей воздуха в транспортный тоннель вентиляторами, установленными на северном и южном порталах сервисного тоннеля. Анализ проекта, выполненный с учетом современных стандартов и научно-методических положений по вентиляции автодорожных тоннелей, показал, что этот проект не удовлетворяет требованиям обеспечения безопасности эксплуатации как в нормальной, так и в аварийной ситуациях. В частности, в проекте отсутствовала возможность для безопасной эвакуации людей и эффективного дымоудаления при возникновении пожара в транспортном тоннеле. В связи с этим было принято решение о модернизации системы вентиляции. Для этого были осуществлены натурные измерения естественной тяги, дана оценка ее влияния на

аэродинамику воздушного потока, в том числе при возникновении в тоннеле пожара, выполнено имитационное моделирование проветривания тоннеля для различных значений и направлений действия естественной тяги при одновременной работе вентиляторов на порталах сервисного тоннеля и струйных вентиляторов, размещенных в тоннеле.

Экспериментальные и теоретические исследования естественной тяги

В 2009 г. на Гимринском тоннеле был выполнен комплекс натурных исследований для определения депрессии естественной тяги. Измерения депрессии естественной тяги были осуществлены в зависимости от направления движения воздуха на южном и северном порталах сервисного тоннеля. Методика измерений состояла в следующем:

1) на поверхности вблизи порталов вне зоны влияния выходящего из сервисного тоннеля потока воздуха устанавливался микроманометр;

2) к микроманометру присоединялись два силиконовых шланга, конец одного шланга располагался на поверхности вне зоны влияния выходящего из сервисного тоннеля потока воздуха, а второй, для исключения влияния местных сопротивлений выхода, находился в сервисном тоннеле на расстоянии, равном 6 гидравлическим диаметрам, от его портала. К концу шлангов в сервисном тоннеле (сечение II—II) и на поверхности (сечение I—I) присоединялись трубки Пито, устанавливаемые навстречу движению потока воздуха;

3) дверной проем портала сервисного тоннеля перекрывался дверью. Одновременно с закрытием двери производился замер. Замеры осуществлялись сериями по несколько замеров в каждой из них. В каждой серии определялись средние значения измеряемой величины. Схема измерений представлена на рис. 1, а их результаты — в табл. 1.

Анализ результатов измерений депрессии естественной тяги показывает, что величина и направление действия естественной тяги в основном зависят от разницы температур атмосферного воздуха у южного и северного порталов тоннеля. При положительной разности температур естественная тяга направлена от северного портала к южному. При отрицательной разнице этих температур естественная тяга имеет обратное направление. Величина естественной тяги в южном направлении может достигать 120 Па, в северном направлении — 53 Па.

Атмосферное давление у северного и южного порталов во время проведения измерений изменялось незначительно: у южного портала в пределах 88,71–89,71 кПа, у северного портала — 88,51–89,58 кПа. Скорость ветра не превышала 1,5 м/с.

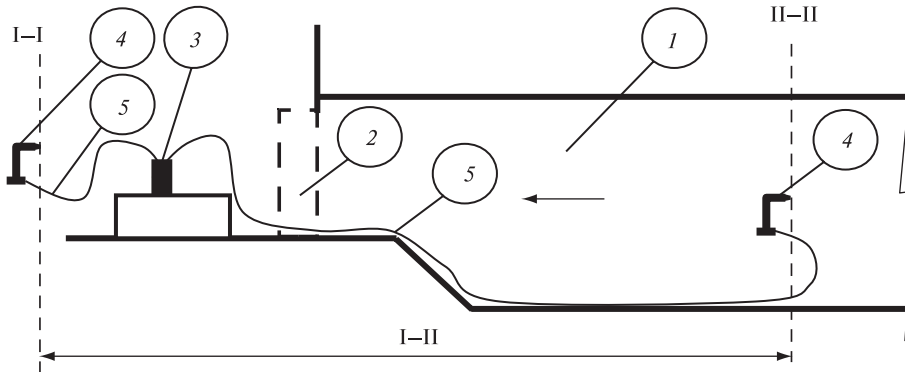


Рис. 1. Измерения депрессии естественной тяги на южном портале сервисного тоннеля:

1 — сервисный тоннель; 2 — вентиляционные двери; 3 — микроманометр; 4 — воздухомерные трубки; 5 — силиконовые шланги

Таблица 1

Данные измерения депрессии естественной тяги

Дата наблюдений	Южный портал	Северный портал	$\Delta t = (t_{ю.п} - t_{с.п})$	Направление действия $H_{e.т}$	$H_{e.т}$		
	$t_{ю.п}, ^\circ C$	$t_{с.п}, ^\circ C$			измеренные, Па	рассчитанные, Па	разница, %
23.05.09	20,6	14,2	6,4	С → Ю	85	101,5	19
12.06.09	30,3	24,5	5,8	С → Ю	81	94	16
04.07.09	30,9	23,2	7,7	С → Ю	102	124	21
29.07.09	23	26,1	-3,1	Ю → С	62	53,7	14
18.08.09	21,7	18,3	3,4	С → Ю	48	53,9	13
08.09.09	20,8	16,1	4,7	С → Ю	65	74,6	15
01.10.09	13,1	15,5	-2,4	Ю → С	46	41	11
11.11.09	2,7	-1,4	4,1	С → Ю	71	62,3	12

Натурные наблюдения дали возможность уточнить применительно к условиям Гимринского тоннеля разработанную ранее физическую модель, определяющую возникновение естественной тяги в зависимости от трех факторов [3–6, 9]. Первый из них характеризует величину гравитационной составляющей депрессии ($h_{г.т}$); второй фактор — барометрическую составляющую депрессии ($h_{б.т}$); третий фактор связан с депрессией, создаваемой ветром [5]. Схема для определения первых двух факторов представлена на рис. 2.

Зависимости для определения депрессии естественной тяги, а также ее тепловой и барометрической составляющих получены при допущении о линейном характере зависимости изменения температуры атмосферного воздуха от высоты, отсчитываемой от высотной отметки каждого из порталов.

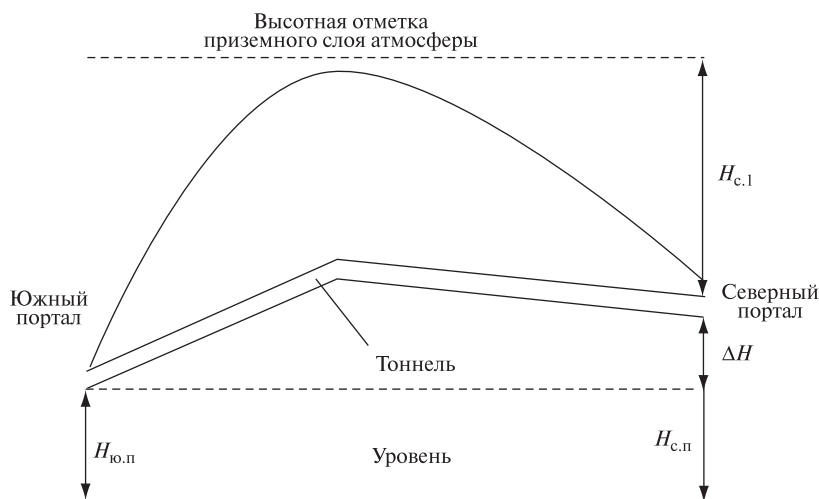


Рис. 2. Профиль Гимринского тоннеля

На высоте приземного слоя атмосферы температура атмосферного воздуха принимается постоянной для района расположения тоннеля.

При выводе зависимостей использованы методические положения, изложенные в работе [3]. Для упрощения вычислений конечные формулы выражены через разницу температур атмосферного воздуха на южном и северном порталах: $\Delta t = t_{ю.п} - t_{с.п}$, температуру атмосферного воздуха у южного портала $t_{ю.п}$:

$$h_{с.т} = h_{г.т} + h_{в.т} = \frac{1,74g\Delta H (P_{ю.п} + P_{с.п})[-0,5\Delta t + \delta t]}{(273 - 0,5\Delta t + t_{ю.п} + \delta t)(273 + t_{ю.п})} + \frac{6,96gP_{ю.1}H_{ю.1}\Delta t}{[\Delta t - t_{ю.п} - (0,00348g + \sigma)H_{ю.1} + 546][\Delta t - (0,00348g + \sigma)H_{ю.1} + 546]}; \quad (1)$$

$$P_{ю.1} = \frac{\left(1 - \frac{0,00174gH_{ю.1}}{t_{с.п} - 0,5\sigma H_{ю.1} + 273}\right)}{\left(1 + \frac{0,00174gH_{ю.1}}{t_{с.1} - 0,5\sigma H_{ю.1} + 273}\right)} P_{с.п}, \quad (2)$$

где $\Delta H = H_{с.п} - H_{ю.п}$ — разница между высотными отметками северного и южного порталов ($\Delta H = 15$ м);

$H_{ю.1}$ — принята равной высоте хребта за вычетом высоты расположения северного портала над уровнем моря ($H_{ю.1} = 810$ м);

δt — рассчитывается по методике, представленной в работах [6,7];

σ — влажноадиабатический градиент, зависящий от температуры и давления атмосферного воздуха, находится из табл. 2 [3].

Таблица 2

Значения температурного (влажноадиабатического) градиента ($^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) в зависимости от температуры воздуха и давления во влажном насыщенном воздухе

$P, \text{кПа}$ \ $t, ^{\circ}\text{C}$	40	30	20	10	0	-10
99,975	0,32	0,36	0,44	0,53	0,66	0,76
79,980	0,29	0,34	0,40	0,49	0,61	0,73
59,985	0,27	0,30	0,36	0,44	0,56	0,67

Вычисления естественной тяги, выполненные по формулам (1) и (2), для условий Гимринского тоннеля представлены на рис. 3.

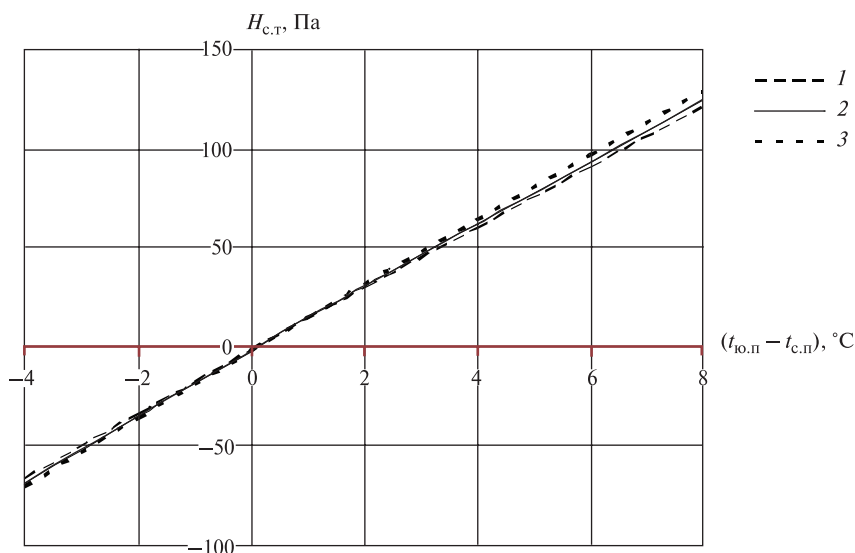


Рис. 3. Депрессия естественной тяги в зависимости от $\Delta t = t_{ю.п} - t_{с.п}$ и $t_{ю.п}$:
 (1) — $t_{ю.п} = 0^{\circ}\text{C}$; (2) — $t_{ю.п} = 15^{\circ}\text{C}$; (3) — $t_{ю.п} = 30^{\circ}\text{C}$

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными показало, что разница между ними не превышает 21% (см. табл. 1), что подтверждает правомерность использования принятой физической модели для определения депрессии естественной тяги в рассматриваемых условиях.

Кроме того, результаты расчетов подтвердили ранее высказанное утверждение, что основным фактором, определяющим депрессию естественной тяги, следует считать разницу температур атмосферного воздуха на южном и северном порталах тоннеля $\Delta t = t_{ю.п} - t_{с.п}$.

Принципы модернизации схемы вентиляции Гимринского тоннеля

В связи с тем что построенный в период до 2000 г. транспортный тоннель имеет габарит приближения, не позволяющий применять типовые технические решения для организации дымоудаления (установка в верхней части тоннеля подшивного потолка), было предложено использовать для этого сервисный тоннель.

При возникновении пожара на участках тоннеля между сбойками свежий воздух за счет осевых вентиляторов поступает в транспортный тоннель через северный и южный порталы тоннеля и движется по направлению к очагу пожара. Затем через одну из сбоек, на участке между которыми произошло возгорание, пожарные газы направляются в сервисный тоннель, движутся по нему к северному и южному порталам и выбрасываются в атмосферу. В зависимости от направления естественной тяги для отвода пожарных газов из транспортного отсека выбирается сбойка, которая расположена справа (при направлении естественной тяги с севера на юг) или слева (при направлении естественной тяги с юга на север от очага пожара). Эвакуация транспортных средств и людей осуществляется от места возникновения пожара на порталы тоннеля.

При возникновении пожара на участках между северным или южным порталами и ближайшими к ним удалением пожарных газов из тоннеля осуществляется за счет струйных вентиляторов, находящихся южнее сбойки. При этом все сбойки закрываются вентиляционными дверями; проветривание сервисного тоннеля осуществляется обособленно от транспортного тоннеля.

Количество воздуха, которое должно поступать в тоннель с каждого портала, выбирается из условия обеспечения на каждом участке тоннеля с противоположных сторон от очага пожара скорости воздушного потока, равной критической скорости. Выполнение этого условия гарантирует невозможность возникновения движения дыма или горячих газов (backlaying), обратного вентиляционному потоку, что на всем протяжении участка между соседними сбойками позволяет осуществить безопасную эвакуацию людей и транспортных средств. Величина критической скорости воздуха $v_{кр}$, вычисленная по рекомендациям работы [8], при мощности пожара 30 мВт составляет 2,1 м/с. **Расход воздуха, соответствующий этой скорости, равен 100 м³/с.** Таким образом, для безопасной эвакуации людей и транспорта к порталам тоннеля необходимо обеспечить на участках тоннеля южнее и севернее очага пожара расход воздуха 100 м³/с.

Для математического моделирования аварийных вентиляционных режимов был использован метод численного решения сетевых (транспортных) задач. Этот метод хорошо зарекомендовал себя в практике вентиляционных расчетов шахт и рудников и дает результаты, адекватно отража-

ющие количественные показатели процесса [1]. Решение систем уравнений большой размерности выполняется на основе комплекта специальных программ, разработанных под руководством проф. Д. Ю. Палеева. Естественная тяга задавалась в виде источника постоянной депрессии, имеющего различное направление действия. Депрессия, развиваемая струйным вентилятором, задавалась в виде линейного источника, учитывающего конструктивные особенности конкретного типа струйного вентилятора:

$$H_{j,в} = a - bQ, \quad (3)$$

где $a = N_{j,в}/F_T$, $b = N_{j,в}/v_{вых} F_T$.

При моделировании аварийных режимов для вычисления распределения воздуха по выработкам использовался итерационный метод, заключающийся в последовательном решении уравнений, определяющих распределение воздуха по вентиляционной сети и температуры воздушного потока за очагом пожара. В результате использования этого метода рассчитывалась средняя температура пожарных газов за очагом пожара, уточнялась плотность газозвушной смеси и определялось увеличение объема расходуемого воздуха при сохранении равенства весовых объемов до и после очага пожара. Расчеты велись до достижения необходимой точности вычислений.

В процессе математического моделирования для каждого сценария возникновения пожара при фиксированном режиме работы осевых вентиляторов определялось необходимое количество струйных вентиляторов на участках тоннеля севернее и южнее очага пожара, обеспечивающих заданное количество воздуха на этих участках. Математическое моделирование было осуществлено для 42 сценариев возникновения пожара. Каждый из этих сценариев отличался местом расположения очага пожара, отсутствием или наличием естественной тяги и направлениями ее действия. Для каждого из 42 аварийных режимов вентиляции определялись количество струйных вентиляторов на каждом участке тоннеля относительно очага пожара и направление подачи ими воздуха. Каждый аварийный режим обеспечивался различным количеством струйных вентиляторов при их общем количестве 30.

На рис. 4 приведен один из аварийных режимов вентиляции при возникновении пожара на расстоянии 1400 м от северного портала. Для данного режима вентиляции при работающих осевых вентиляторах на порталах сервисного тоннеля 8 струйных вентиляторов, расположенных севернее очага пожара, подают воздух на юг и 17 струйных вентиляторов, находящихся южнее очага пожара, подают воздух на север. Для этого аварийного режима на северном и южном порталах тоннеля расход воздуха равен $101 \text{ м}^3/\text{с}$ и $109 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты математического моделирования зависимости суммарного импульса силы струйных вентиляторов, находящихся севернее и южнее очага пожара, от расстояния от очага пожара до северного портала, представлены на рис. 5 и 6.

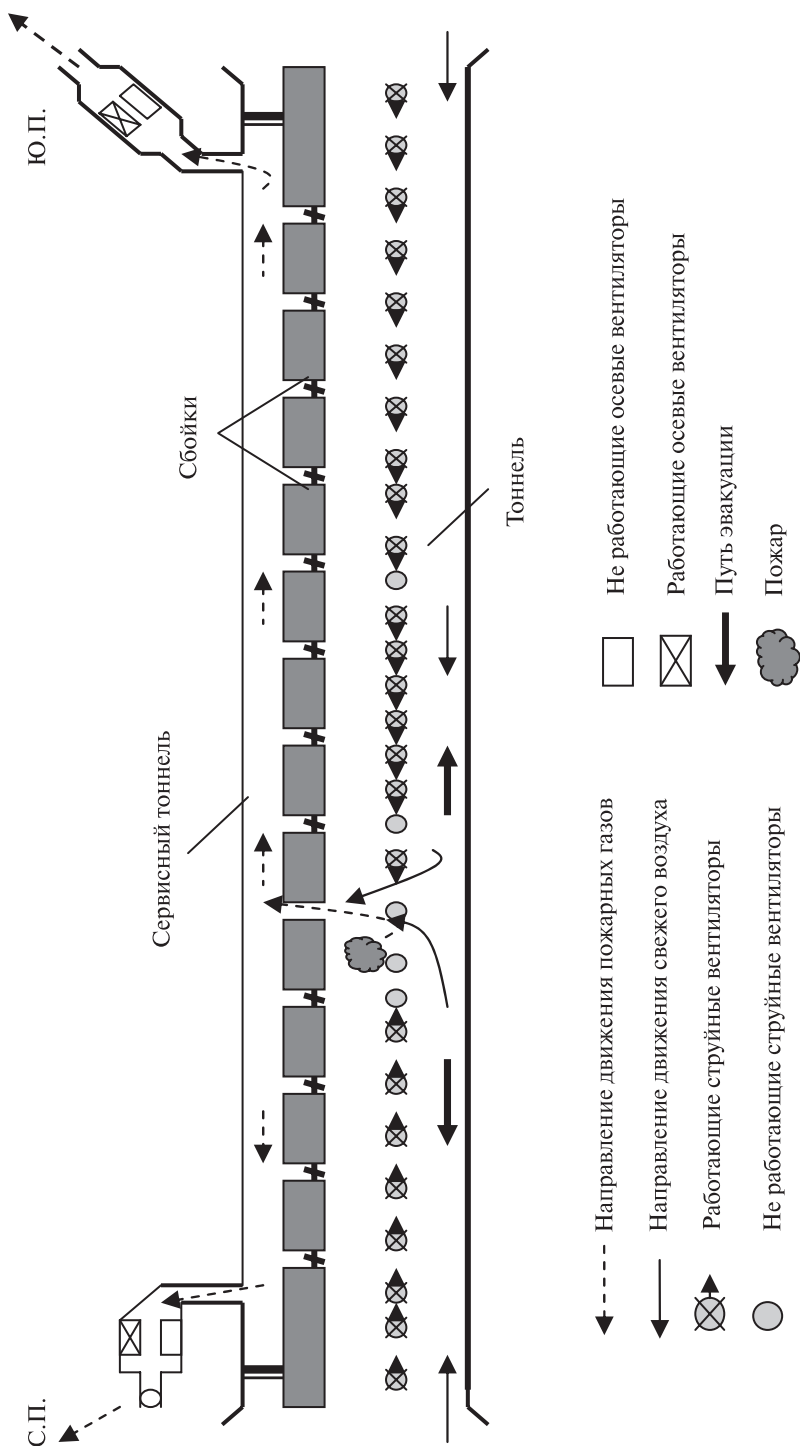


Рис. 4. Аварийный режим вентиляции при возникновении пожара между 4-й и 5-й сбойками (естественная тяга отсутствует; 5-я сбойка открыта)

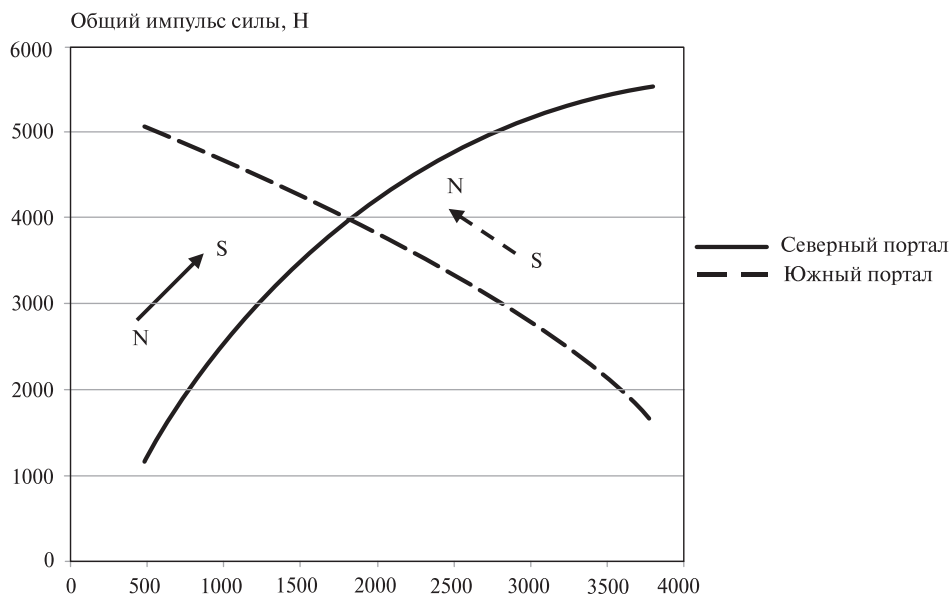


Рис. 5. Общий импульс струйных вентиляторов, обеспечивающих требуемое количество воздуха при отсутствии естественной тяги (стрелки показывают направление движения воздуха в каждой ветви)

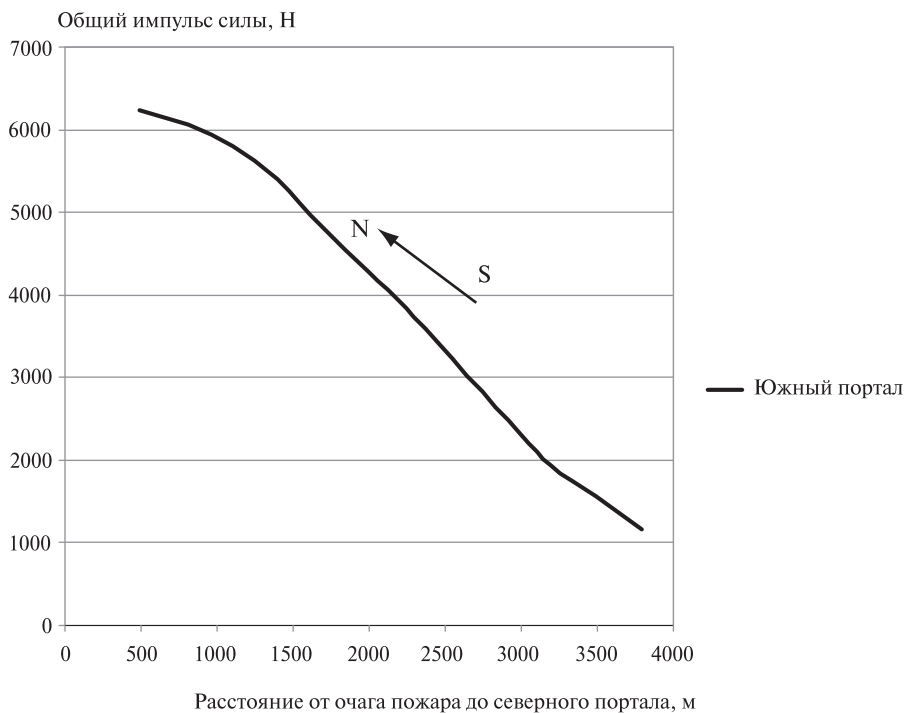


Рис. 6. Общий импульс струйных вентиляторов, обеспечивающих требуемое количество воздуха при естественной тяге величиной 100 Па, направленной на юг (стрелка показывает направление движения воздуха в ветви)

Струйные вентиляторы, расположенные в тоннеле, могут быть использованы для проветривания тоннелей при следующих штатных ситуациях: движение с установленной скоростью, замедленное движение и остановка транспортного потока. В этом случае вентиляция тоннеля будет осуществляться обособленно от сервисного тоннеля. При этом вентиляционные двери в сбойках между этими подземными выработками должны быть закрыты. Количество одновременно включенных (работающих) вентиляторов зависит от интенсивности движения и транспортной ситуации. На рис. 7 приведены результаты вычислений суммарного импульса струйных вентиляторов, обеспечивающих поступление количества воздуха, требуемого для достижения допустимой концентрации СО для нормального трафика и NO_2 — для замедленного трафика и остановки [10].

Расчеты показывают, что при работе всех 30 струйных вентиляторов общий импульс равен 10 600 Н. Количество воздуха, поступающее в тоннель, достигает $190 \text{ м}^3/\text{с}$. Вычисления необходимого количества воздуха были выполнены с учетом эмиссионного стандарта ЕВРО-3 [2]. Данное количество воздуха гарантирует при замедленном движении с максимальной интенсивностью 310 пр. авт./ч нормативные параметры воздушной среды.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования позволили показать, что для реализации аварийных режимов вентиляции

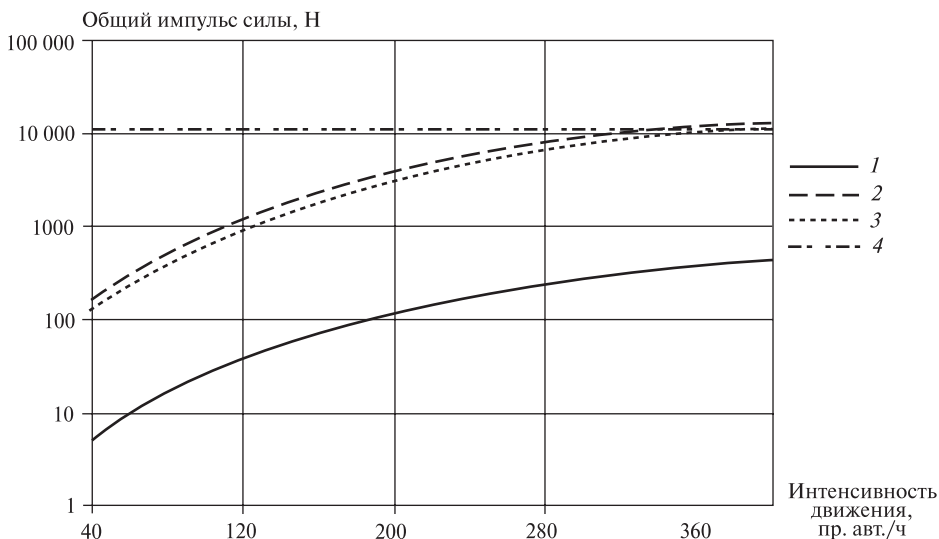


Рис. 7. Суммарный импульс струйных вентиляторов, обеспечивающий необходимое количество воздуха, в зависимости от интенсивности транспортного потока для движения с установленной скоростью (кривая 1), замедленного движения (кривая 2) и при остановке (кривая 3). Кривая 4 определяет максимальный импульс силы, который можно обеспечить 30 струйными вентиляторами

в Гимринском автодорожном тоннеле имеющееся вентиляционное оборудование следует дополнить струйными вентиляторами, которые необходимо установить непосредственно в транспортном тоннеле. При этом количество работающих струйных вентиляторов зависит от места возникновения пожара, величины и направления действия естественной тяги.

При нормальных режимах эксплуатации с помощью струйных вентиляторов будет обеспечено нормативное содержание в тоннеле загрязняющих веществ при максимально запланированной величине интенсивности движения транспорта.

Литература

1. *Абрамов Ф. А.* Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников / Ф. А. Абрамов, Р. Б. Тян, В. В. Потемкин. М.: Недра, 1978. 232 с.
2. Автодорожные тоннели: выбросы загрязняющих веществ от транспортных средств и требования к качеству вентиляционного воздуха / Технический комитет по эксплуатации автодорожных тоннелей Мировой транспортной ассоциации. Франция. 2004. Ноябрь. 72 с.
3. *Вассерман А. Д.* Специфика теплового режима подземных сооружений при передаче тепла массиву // Физические процессы горного производства. Тепломассоперенос в горных выработках и породных коллекторах: Сб. науч. тр. Л.: Изд. ЛГИ, 1985. С. 103–107.
4. *Вейс Х.* Исследование влияния перепада атмосферного давления на продольную вентиляцию автодорожных тоннелей / К. Долински // Пятая Международная конференция по аэродинамике и вентиляции транспортных тоннелей. Франция. 1985. С. 403–410.
5. *Вест А.* Ветровой поток и измерение сопротивления в горных тоннелях / С. В. Поп // Пятая Международная конференция по аэродинамике и вентиляции транспортных тоннелей. Франция. 1985. С. 375–380.
6. *Гендлер С. Г.* Тепловой режим подземных сооружений. Л., 1987. 101 с.
7. *Гендлер С. Г.* Управление тепловым режимом железнодорожных тоннелей, расположенных в суровых климатических условиях // Девятая Международная конференция по аэродинамике и вентиляции транспортных тоннелей. Италия. 1997. С. 397–411.
8. НПФА 502. В ред. 2004. Стандарт для автодорожных тоннелей, мостов и других скоростных автомагистралей с ограниченным въездом // Национальная противопожарная ассоциация. США. Даллас. 2004. 30 с.
9. *Роч Л.* Влияние метеорологических условий на вентиляцию: Три новых натуральных эксперимента // Седьмая международная конференция по аэродинамике и вентиляции транспортных тоннелей. Великобритания. 1991. С. 513–543.
10. СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные. М., 1997.

УДК 622.8

Н. О. КАЛЕДИНА,
докт. техн. наук, зав. каф. аэрологии и охраны труда
С. С. КОБЫЛКИН,
канд. техн. наук, доц. каф. аэрологии и охраны труда
(Московский государственный горный университет,
Россия)

ОБОСНОВАНИЕ МЕТАНОБЕЗОПАСНЫХ РЕЖИМОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ОЧИСТНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Аннотация. В статье приводится новый способ обоснования метанобезопасных режимов проветривания очистных и подготовительных выработок. Дается краткое описание используемых закономерностей при объемном моделировании аэрогазодинамических процессов, протекающих в горных выработках и в выработанном пространстве.

Ключевые слова: выемочный участок, проветривание, метанобезопасность, режим.

Summary. The article provides a new way to study methane safety of airing clearing and preparatory workings. We give a brief description of the laws by a volume modeling aero gas-dinamic processes in the mines and in the goaf.

Keywords: working area, airing, methane safety, conditions.

На сегодняшний день развитие угольного предприятия определяют прежде всего экономические факторы, при этом затраты на безопасность горного производства повышают себестоимость продукции, являются сдерживающим фактором увеличения производственной мощности. Вентиляционные системы шахт как основное средство создания безопасных и комфортных условий работы не обеспечивают в полном объеме необходимую аэрологическую безопасность ведения горных работ и выполнение требований законодательных и нормативных документов, о чем свидетельствует анализ причин аварийности на отечественных горнодобывающих предприятиях.

Обоснование режимов проветривания, базирующееся сегодня на эмпирических зависимостях, полученных более полувека назад, приводит к неправильному проектированию вентиляции очистных и подготовительных выработок, что увеличивает риск загазирования и взрыва метана.

Отсутствие нормативно-методической основы проектирования вентиляции газообильных шахт и рудников связано с тем обстоятельством, что

старые методики прогноза газовыделения для расчета необходимого расхода воздуха базировались на эмпирических зависимостях, полученных при производительности, в десятки раз меньшей, чем сегодня.

Получаемые сегодня разными исследователями эмпирические зависимости отражают только общие закономерности, но также применимы только для данных горно-геологических и технологических условий.

Для того чтобы избежать указанных ошибок, при обосновании метанобезопасных режимов проветривания очистных и подготовительных выработок предлагается в основе проектирования элементов шахтной вентиляционной сети использовать компьютерные аналоги подземных аэрогазодинамических систем, суть которых заключается в численном решении сложной системы дифференциальных уравнений, описывающих аэрогазодинамические процессы конвективной диффузии в стратифицированных потоках, как в объеме горных выработок, так и в выработанном пространстве.

Практические исследования подтвердили высокую степень достоверности разработанных моделей: расхождение расчетных значений и результатов шахтных измерений не превышает 15% [1, 2]. Практическое применение разработанного авторами методологического подхода к проектированию вентиляции высокопроизводительных газообильных шахт позволяет повысить эффективность проветривания и на этой основе обеспечить повышение их производительности и безопасности ведения горных работ.

Математическая модель содержит четыре зоны, в которых течение имеет существенно различный характер. К этим зонам относятся: горные выработки, по которым подается свежая струя воздуха; горные выработки с исходящей метановоздушной струей; очистной забой с различными источниками выделения метана и выработанное пространство. Для описания течений в этих зонах следует варьировать уравнения модели: пренебрегать малозначительными членами, изменять аппроксимации и т.д. Все это усложняет нахождение численного решения задачи. Поэтому было принято решение использовать во всей расчетной области одни и те же уравнения. При этом предполагается использование высокопроизводительной вычислительной техники на базе кластеров, что позволит преодолеть те сложности, которые могли бы быть устранены с помощью варьирования модели, и использование инновационного программного обеспечения, впервые применяющегося для численного решения диффузионных процессов вентиляции выемочных участков угольных шахт.

В качестве уравнений модели выбираются фундаментальные уравнения динамики газа, основанные на универсальных законах сохранения: сохранения массы, сохранения количества движения и сохранения энергии. В основе математической модели лежит широко известная система дифференциальных уравнений Навье — Стокса. Рассматриваемое течение состоит из двухкомпонентной смеси рудничной атмосферы воздуха и метана, поступающего из плоскости пласта очистного забоя. Для учета турбулентности

применяется процедура осреднения искомым параметров по времени и представление этих параметров как суммы среднего и пульсационного значений. Данная процедура носит название «осреднение по Рейнольдсу». Трехмерные, нестационарные, осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье — Стокса замыкаются с помощью уравнения неразрывности и энергии.

Турбулентные потоки имеют нестабильную, трехмерную диссипативную природу. Увеличение турбулентности приводит к улучшению смешивания и теплообмена, увеличивает шум и перепад давлений, поэтому правильное прогнозирование турбулентности очень важно, а в горной промышленности особенно.

Уравнения Навье — Стокса описывают как ламинарные, так и турбулентные течения и решаются прямым численным моделированием. Это требует на много порядков более мощные вычислительные ресурсы, чем те, что доступны в настоящее время. Но использование моделей турбулентности позволяет обойти это ограничение. Нерегулярные уравнения Навье — Стокса, для инженерных целей осредненные по времени, именуются осредненными по Рейнольдсу уравнениями. Побочным результатом такого осреднения по времени являются добавочные неизвестные слагаемые, представляющие собой пульсирующие величины (напряжения Рейнольдса, тепловые и массовые потоки). Модель турбулентности требуется для математического моделирования этих добавочных напряжений и скалярных потоков в среде. Из большого количества доступных моделей турбулентности некоторые имеют очень специфическое применение, другие могут использоваться для широкого класса течений с приемлемым уровнем достоверности.

Стандартная k - ε -модель является основой промышленной вычислительной гидродинамики (ВГД), так как предлагает приемлемый компромисс между затратами на расчет и вычислительной точностью.

И скорость, и масштаб длины определяются из отдельных уравнений переноса (турбулентная кинетическая энергия k и диссипация турбулентных вихрей ε). Данные параметры задаются в краевых условиях.

Пористая область задается изотропной моделью потерь и моделью направленных потерь. Изотропные потери импульса могут быть учтены либо линейным и квадратичным коэффициентом сопротивления, либо коэффициентами проницаемости и потерь. Основываясь на работах Л. А. Пучкова [3], Н. О. Калединой [4] и Ф. С. Клебанова [5] по изучению аэродинамики выработанных пространств и на исследованиях Милетича по утечкам на основе двучленного закона, для выработанного пространства используем закон Дарси в обобщенной форме.

В общем виде постановка задачи исследования распределения воздуха в выработанных пространствах определяется как задача отыскания неизвестных функций:

$$V = f(x, y, z); \quad (1)$$

$$P = \varphi(x, y, z). \quad (2)$$

В нашей задаче добавляется еще одна отыскиваемая переменная в пространстве — концентрация газа:

$$C = \zeta(x, y, z). \quad (3)$$

Рудничные потоки являются турбулентными, вследствие чего примеси будут распространяться нерегулярно, поэтому аналогично уравнениям переноса импульса, массы и тепла [5] запишем параболическое уравнение рассеяния примесей в атмосфере с учетом правила осреднения Рейнольдса:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(CU)}{\partial x} + \frac{\partial(CV)}{\partial y} + \frac{\partial(CW)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\overline{C_{\Pi} U_{\Pi}} + D_{\text{M}} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\overline{C_{\Pi} V_{\Pi}} + D_{\text{M}} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-\overline{C_{\Pi} W_{\Pi}} + D_{\text{M}} \frac{\partial C}{\partial z} \right) + f_1 + f_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где C, U, V, W, f_1 и f_2 — соответственно усредненные по времени значения концентрации, компонент скорости по осям координат, функции, описывающие источник и сток;

D_{M} — коэффициент молекулярной диффузии.

В общем случае функции источника и стока есть функции координаты и времени.

При диффузии активного газа метана компоненты скорости и диффузии есть функции концентрации, и данное уравнение не является линейным.

Решение разработанной математической модели производится путем применения численного метода, основанного на конечно-объемном методе решения уравнений аэрогазодинамики.

Как и в большинстве расчетных методов, в методе конечных объемов используется подход Эйлера, т.е. рассматривается течение в выделенной области пространства, в отличие от подхода Лагранжа, согласно которому рассматривается движение в пространстве выделенной области (массы) текучей среды (этот подход часто используется для расчета движения инородных частиц в текучей среде). Если задача нестационарная, то соответственно рассматривается эволюция (изменение во времени) течения в выделенной области пространства.

При решении математической модели для получения единственного решения уравнения задаются краевые условия протекания процесса переноса в начальный момент времени и на границах потока, а также строится расчетная трехмерная геометрическая форма области течения потока. Разработанный подход к системному проектированию включает в себя множество физических и технологических параметров и констант, ранее не учитываемых при проектировании вентиляции шахт. Это позволяет получать точные расчеты распределения аэрогазодинамических параметров выемочных участков, включая распределение концентраций в горных выработках, и определять метанобезопасные режимы путем прямого модели-

рования в широком диапазоне изменения определяющих факторов, исключая ошибки допущений и эмпирических констант.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Соглашение №14. В37.21.0655.

Литература

1. *Каледина Н. О., Кобылкин С. С.* Системное проектирование вентиляции шахт на основе объемного моделирования аэрогазодинамических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ): Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка – 2012». М.: МГУ, 2012. № ОВ 1. С. 282–294.

2. *Каледина Н. О., Кобылкин С. С.* Моделирование процессов вентиляции шахт для обеспечения метанобезопасности горных работ // Горный журнал. 2011. № 7. С. 101–103.

3. *Пучков Л. А.* Аэродинамика подземных выработанных пространств. М.: МГУ, 1993. С. 11–206.

4. *Каледина Н.О.* Исследование и расчет рациональных режимов аэродинамики и дегазации выработанных пространств в условиях автоматического управления вентиляцией выемочных участков. М., 1977. С. 14.

5. *Клебанов Ф. С.* О выделении метана из выработанных пространств // Проблемы рудничной аэрологии. М.: Госгортехиздат, 1959. С. 113–122.

УДК 622.458

В. Н. БОБРОВНИКОВ,
докт. техн. наук
Е. Б. ГРИДИНА,
канд. техн. наук
К. Н. ЯСТРЕБОВА,
аспирант

(Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ АЭРОГАЗОПЫЛЕДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ КАРЬЕРОВ И РАЗРЕЗОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Аннотация. В статье описаны основные источники образования пыли и газа при разработке месторождений открытым способом, приведен анализ существующих методов по нормализации атмосферы карьера, а также обоснование эффективности применения методов с целью повышения безопасности при ведении открытых горных работ.

Ключевые слова: аэрология карьеров, экологическая безопасность, повышение производительности труда.

Summary. The article describes the main sources of dust and gas field development open-cast mining, the analysis of existing methods to normalize the atmosphere open pit, as well as evaluation of the effectiveness of methods to improve safety in the management of open-cast mining.

Keywords: open pit aerology, environmental safety, improving productivity.

В связи с увеличением глубины карьеров одной из основных проблем при разработке месторождений открытым способом становится обеспечение нормальных санитарно-гигиенических условий в атмосфере карьеров, гарантирующих безопасную и высокопроизводительную работу. Несмотря на широкое применение мероприятий по борьбе с запыленностью и загазованностью, в последние годы на открытых горных работах участились случаи повышенного содержания вредных примесей в атмосфере карьеров. Основной причиной сверхнормативного загрязнения атмосферы карьеров является несовершенство технологических процессов и оборудования, а также ухудшение условий естественного воздухообмена с увеличением глу-

бины карьеров, особенно при штилях и температурной инверсии, при которых турбулентный воздухообмен выработанного пространства карьера с окружающей средой затрудняется.

Согласно Единым правилам безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПБ-03-498–02) [1] состав атмосферы объектов открытых горных работ должен отвечать установленным нормативам, воздух рабочей зоны должен содержать по объему не менее 20% кислорода и не более 0,5% углекислого газа. Содержание других вредных примесей не должно превышать установленных санитарных норм по пыли и вредным газам. К основным вредным газам относятся оксид углерода (ПДК — 20 мг/м³, или 0,0017%, при продолжительном нахождении на загрязняемом участке), оксиды азота (ПДК — 5 мг/м³, или 0,00025%).

Причиной загрязнения атмосферы в нижней зоне карьера являются внутренние источники, а при инверсиях — источники с вышележащих горизонтов. Причиной загрязнения в верхней зоне являются внутренние источники, а при инверсиях и неблагоприятных ветровых переносах — источники вне контура карьера.

Основными источниками пыли и газа в карьере являются буровые работы, погрузочно-транспортные операции и пыль, поднимаемая ветровыми потоками. Выделение токсичных газов вызвано также проведением массовых взрывов в карьере и работой технологического автотранспорта при перевозках взорванной горной массы на отвалы, дробильно-перегрузочные пункты и т.д. Количество одновременно взрывааемых взрывчатых веществ в карьерах колеблется в среднем от 200 до 1100 т. Концентрация вредных примесей как в облаке, так и в атмосфере карьера, а также в горной массе достигает значительных величин. В пылегазовом облаке (ПГО) количество пыли составляет 0,027–0,17 кг/м³ горной массы; 63–80% пыли в карьере имеет крупность менее 1,4 мкм [2]. При этом количество образовавшейся пыли и ее дисперсность изменяются в широких пределах и зависят в основном от типа и крепости горных пород, степени их обводненности, удельного расхода взрывчатых веществ.

На рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере карьера активно влияет планировочная структура территории. Начальное рассеивание существенно увеличивается в аэродинамической тени от технологических складок местности. Такие вредности, как газы после проведения массового взрыва, выхлопные газы от технологического транспорта и оборудования, поступают в атмосферу карьера в перегретом виде, так как их начальная температура значительно выше температуры атмосферы карьера.

Таким образом, возможны следующие пути решения указанной проблемы:

- 1) интенсификация естественного проветривания выработанного пространства;
- 2) осуществление местной вентиляции застойных рабочих зон.

Основная сложность заключается в том, что при достаточно большой глубине карьера объем выработанного пространства в процессе отработки

составит 10^8 – 10^{10} м³, и его искусственное проветривание потребует больших энергетических затрат. Следует также отметить, что реализация искусственного проветривания выработанного пространства карьера осложняется ограниченным количеством выпускаемых образцов: в серийном производстве находится вентиляционная установка типа УМП-1А (Б). Многие из установок — это рабочие чертежи, промышленные образцы и эскизные проекты.

Как показывает практика, глубокие карьеры являются несовершенной аэродинамической системой. К примеру, на карьерах Кольского полуострова преобладают приземные инверсии, распределение температуры воздуха по глубине в глубоких карьерах и горных долинах имеет равнозначный характер, а также нарушен естественный воздухообмен в течение пяти месяцев (ноябрь — март).

Далее для анализа были использованы данные по карьере «Коашвинский» ОАО «Апатит», климатические условия характеризуются низкой среднегодовой скоростью ветра (преобладают ветры со скоростью ниже 3 м/с) [3]. По мере углубления карьера будет происходить постепенное обособление внутрикарьерной циркуляции от общеатмосферной, приводящее к увеличению количества застойных зон с замкнутой циркуляцией. Причем на нижних горизонтах карьера возможно образование застойной области, которая препятствует естественному воздухообмену с увеличением скорости фонового потока будет опускаться ко дну карьера [4].

На рис. 1 представлены схемы естественного проветривания указанного выше карьера. Основная зона загрязнения атмосферы карьера совпадет с застойной областью, которая будет находиться в средней части карьера, при этом верхняя граница будет располагаться на $\frac{1}{3}$ глубины карьера от замкнутого контура. Представленные схемы позволяют очертить зону естественного проветривания, которая будет ограничена линией под углом 15° от линии горизонта в глубь карьера, а далее при углублении до отметки –296 м карьерное пространство будет характеризоваться рециркуляционными процессами проветривания.

В настоящее время существует достаточное количество новых научно обоснованных технических решений, которые способствуют улучшению естественного и принудительного проветривания рабочих зон карьера:

- увлажнение, при котором эффективность пылеподавления составит 55–60 %;
- покрытие пенами на основе различных составов поверхностно-активных веществ (подъем пылегазового облака уменьшается в 2–3 раза, оседание пыли происходит быстрее в 3–4 раза).

Повысить эффективность процессов подавления пылегазового облака можно за счет введения в гидравлические сопла водных растворов солей угольной (Na_2CO_3) и кремниевой (Na_2SiO_3 , K_2SiO_3) кислот. При этом с вредными газами (NO_x , CO , CO_2), адсорбированными пылевыми частица-

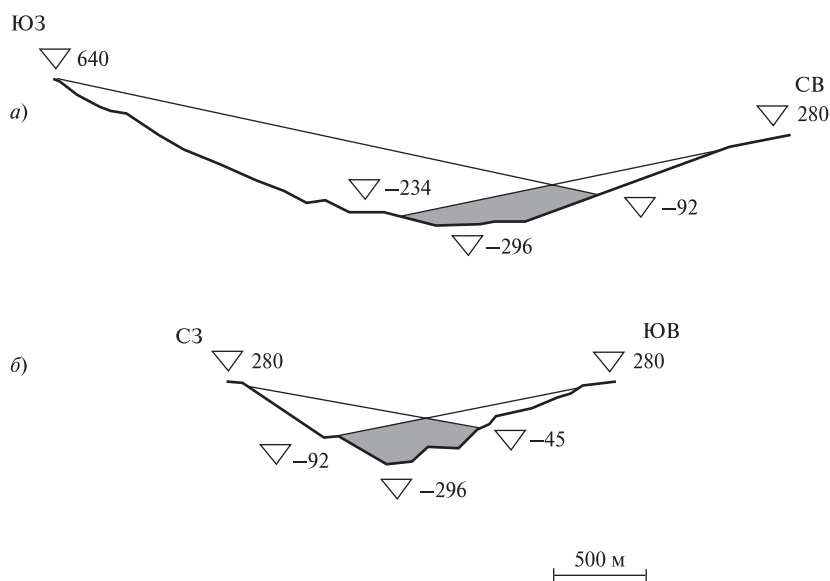


Рис. 1. Схемы для определения режимов проветривания карьера на (а) продольном и (б) поперечном разрезах

ми, содержащими полярные адсорбенты, происходят химические реакции нейтрализации с образованием геля кремниевой кислоты, который связывает пылевые частицы в крупные агрегаты и быстро осаждаются.

В процессе оседания гель H_2SiO_3 высыхает и превращается в пористый адсорбент – силикагель. Это позволяет адсорбировать молекулы CO , NO , CO_2 , NO_2 . Процесс адсорбции у силикагеля необратимый. Более высокими адсорбционными свойствами, чем силикагель, обладают природные цеолиты – фожазит, шабазит и др. [5].

Очевидно, что разработка производственных программ и комплексов мер улучшения проветривания необходима, поскольку человек является объединяющим элементом природно-промышленной системы «карьер – окружающая среда». Человек заинтересован в сохранении биосферы как среды своего обитания, в эффективном освоении месторождения как источника удовлетворения своих потребностей, в соблюдении санитарно-гигиенических нормативов на рабочих местах как условия сохранения своего здоровья.

Литература

1. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. ПБ 03-498–02, 2002.

2. *Конорев М. М., Нестеренко Г. Ф.* К вопросу снижения негативного воздействия на окружающую среду массовых взрывов в карьерах // ГИАБ. 2005. № 1. С. 109–113.

3. *Зорин А. В.* Исследование метеоусловий в районе карьеров «Коашвинский» и «Ньоркпахский» // Горный журнал. 2002. № 4. С. 90–91.

4. *Битколов Н. З., Пененко В. В.* Нормализация атмосферы глубоких карьеров. Л.: Наука, 1986. 295 с.

5. *Нестеренко Г. Ф.* Управление аэрогазодинамическими тепломассобменными процессами при нормализации атмосферы карьеров: Автореф. дис. д-ра техн. наук. Пермь: ИГД УрО РАН, 2008. 45 с.

УДК 622.4.012

В. КАСТАНЬЕДА НЕГАЛЬСКАЛОВ,
ген. директор
О. В. ФОНОВ,
гл. инженер проекта
Д. С. ГОРЯЧЕВ,
инженер проекта
(ООО «Зитрон», Россия)

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ БОЛЬШИХ ТИПОРАЗМЕРОВ

Аннотация. В статье рассматривается более чем 45-летний опыт разработки вентиляторов компании ZITRON для шахт и рудников, включая отличительные особенности конструкций и механизмов, позволяющих расширить рабочую область вентилятора и обеспечить бесперебойную работу оборудования в течение всего срока его службы.

Ключевые слова: вентилятор главного проветривания, аэродинамическая лаборатория, вынесенный и встроенный двигатель, реверсивные режимы, гидравлическая регулировка лопаток, аэродинамические испытания, противосрывное устройство, трубки Петермана.

Summary. The article describes more than 45 years of ZITRON experience in fans manufacturing for mines, including the distinctive constructions and mechanisms, which can to expand the workspace fan and ensure reliability of the equipment.

Keywords: main fan, aerodynamic laboratory, external and built-in motor, reverse mode, hydraulically adjustable blades, aerodynamic testing, antistall, tube device Peterman.

Компания ZITRON уже более 45 лет изготавливает и поставляет вентиляторы главного проветривания для шахт и рудников, расположенных практически на всех континентах нашей планеты. Среди более 200 типов вентиляторов главного проветривания особое положение занимают крупные вентиляторные установки с рабочими колесами более 3000 мм, укомплектованные современными системами гидравлического поворота лопаток без остановки работы вентиляторов. Ввиду чрезвычайной важности данного класса вентиляторов, которые справедливо называют их «легкие шахт и рудников», остановимся на ряде их особенностей и поделимся полезным опытом, накопленным компанией ZITRON в процессе проектирования,

изготовления, испытаний, монтажа и запуска в эксплуатацию данных установок. Одной из ключевых позиций на этапе определения выбора типа вентилятора главного проветривания, необходимого для эффективного проветривания всей подземной сети шахты или рудника, является определение положения главного электродвигателя. Оптимальная компоновка с точки зрения снижения затрат на капитальное строительство и уменьшения габаритов вентилятора главного проветривания (ВГП) основывается на применении встроенного электродвигателя. В таком случае рабочее колесо размещается консольно на валу главного электродвигателя, установленного внутри втулки спрямляющего аппарата. Подшипники данного электродвигателя тщательно рассчитываются на радиальные и осевые нагрузки, вызванные весом и импульсом силы воздушной струи (рис. 1).



Рис. 1. ВГП со встроенным электродвигателем в процессе монтажа на сборочном участке № 1 в цеху компании ZITRON

Такая компактность позволяет обойтись без дополнительных подшипниковых опор, длинного промежуточного вала и снизить стоимость монтажных работ и технического обслуживания в процессе эксплуатации. Подобные решения, по нашему опыту, возможны для вентиляторов с относительным диаметром втулки порядка 0,75 и с мощностью электродвигателя до 3,2 МВт. Простым объяснением ограничения по мощности электродвигателя можно назвать собственный вес электропривода (вес встроенного электродвигателя мощностью 3,2 МВт составляет 15 т). Такой вес электродвигателя позволяет надежно разместить его в корпусе спрямляющего аппарата с надлежащими коэффициентами запаса по прочности. Для справки: вес аналогичного электродвигателя мощностью 4,5 МВт составляет примерно 22 т, и при его размещении не обеспечивались соответствующие

прочностные коэффициенты, выявленные при проведении расчетного проектирования.

Кроме того, при такой компоновке легко решается вопрос об установке стояночного тормоза (гидравлического или механического типа), которым серийно комплектуются все современные ВГП (рис. 2).



Рис. 2. Сборочный узел вентилятора, показанного на рис. 1, с расположенным на втором конце вала электродвигателя гидравлическим стояночным тормозом

Для более крупных машин и более мощных приводов рекомендуется классическая компоновка, включающая вынесенный основной электродвигатель, промежуточный вал и дополнительные промежуточные опоры для фиксации рабочего колеса (рис. 3).



Рис. 3. Вентилятор диаметром 5300 мм и мощностью 10 МВт в процессе монтажа в аэродинамической лаборатории компании ZITRON для последующих аэродинамических испытаний

Представленный на рис. 3 вентилятор был укомплектован электродвигателем мощностью 10 МВт и весом приблизительно 45 т при жидкостной принудительной системе смазки его подшипников качения с помощью маслостанции.

Учитывая вес, габариты и довольно сложный порядок его техобслуживания, встроить данный электродвигатель в проточную часть вентилятора не представлялось возможным (рис. 4).

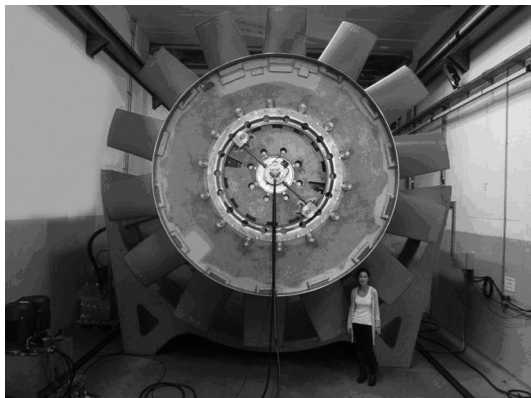


Рис. 4. ВГУ с диаметром рабочего колеса 5300 мм, собранный в лаборатории ZITRON, перед началом проведения аэродинамических испытаний

Для крупных ВГП для возможности изменения рабочих режимов компания рекомендует применять гидравлическую регулировку лопаток рабочего колеса, которая использует технические решения, выполненные на основе зубчатых зацеплений с применением червячной пары (рис. 5).

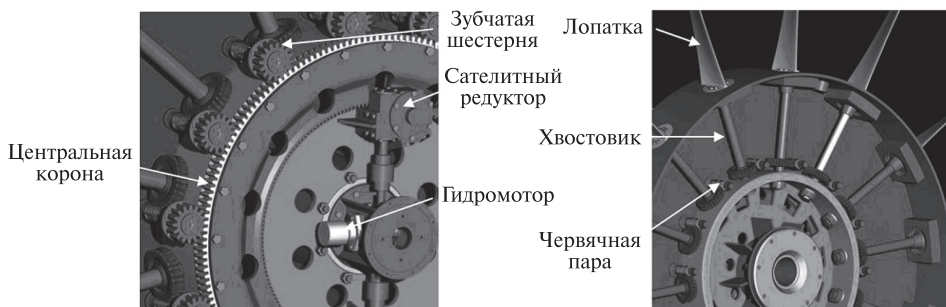


Рис. 5. Устройство механизма регулировки лопаток

Основные преимущества гидравлической системы регулировки лопаток главным образом обусловлены тремя факторами:

1) возможностью запуска ВГП при минимальной нагрузке на электродвигатель (условия минимальной мощности);

2) возможностью включения данного способа регулировки в систему АСУ ТП шахты или рудника для работы в автоматическом режиме и управления режимами вентиляции с помощью датчиков-измерителей (например, метанометров, анимометров, датчиков СО и др.). Пример такой работы ВГП и управления параметрами вентиляционных режимов с помощью датчиков, расположенных внутри шахтной сети, можно увидеть на шахте Монсакро в концерне HUNOSA в Испании;

3) возможностью регулировать параметры вентиляторов больше по количеству воздуха, чем по давлению, что чаще всего соответствует потребности шахт с режимами «рабочая неделя — выходной день» и «рабочий период — период отпусков».

Работу механизма гидравлической регулировки с одновременным поворотом лопаток можно описать следующим образом (рис. 6):

- гидромотор, установленный внутри втулки, с помощью сателлитных редукторов поворачивает центральную корону, установленную в центре втулки на специальном подшипнике скольжения;
- вращаясь, центральная корона поворачивает каждую из зубчатых шестерен, установленных на хвостовиках червяков механизма поворота лопаток;
- в свою очередь червяки поворачивают червячное колесо, закрепленное на каждом из хвостовиков лопаток.

Необходимо отметить основные достоинства данного способа регулировки в отличие от так называемого шарнирного механизма:

- при зубчатом механизме имеется возможность поворачивать лопатку на 360° , что делает возможным выполнение любого алгоритма при реверсировании вентилятора;

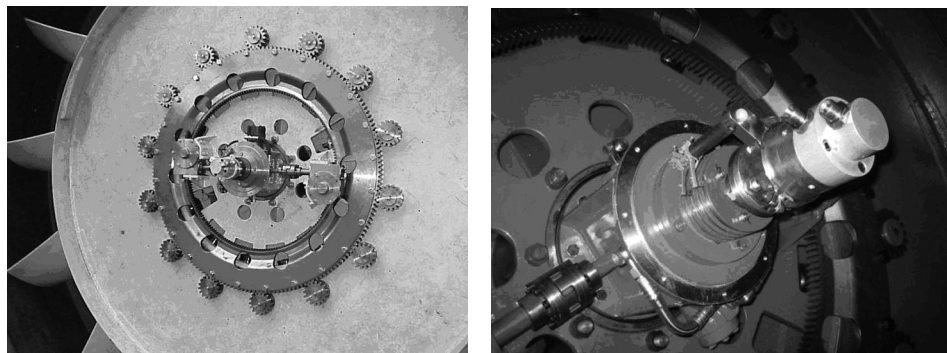


Рис. 6. Механизм гидравлической регулировки с одновременным поворотом лопаток. На виде спереди показаны элементы статическо-динамической гидромуфты и гидромотор

- давление масла в системе необходимо только в момент поворота лопаток. В случае остановки маслостанции отсутствия давления или выхода из строя маслостанции, лопатки остаются в рабочем положении заблокированными за счет самотормозящейся червячной передачи. Таким образом, достигается рациональное использование маслостанции, увеличение ее надежности и долговечности;
- в случае необходимости поворот лопаток можно выполнять с помощью специального механизма и специального ключа вручную при остановленном вентиляторе.

Конструкция лопатки является главным фактором, не позволяющим произвести реверс только изменением вращения рабочего колеса. Преимуществом системы регулировки, основанной на зубчатых зацеплениях, является возможность изменения направления воздушного потока с помощью реверсирования направления вращения и поворота лопаток на угол 180° (вариант Б на рис. 7).

В диапазоне кривой характеристики любого вентилятора всегда присутствует определенная зона, работа в которой ограничивается либо запрещается из-за наличия в этой зоне явления, которое в аэродинамике вентиляторов называют «вращающийся срыв». Явление это специфическое, присущее лишь осевым вентиляторам и компрессорам, и глубина этого явления зависит только от степени загруженности лопаточных венцов вентилятора. Работа вентилятора в этом режиме характеризуется повышенными колебаниями лопаток, повышенной вибрацией самого вентилятора, характерными низкочастотными хлопками-пульсациями воздушного потока и неприятным шумовым спектром.

Само по себе данное явление представляет опасность лишь для самого вентилятора, но в случае если частота этих хлопков и пульсаций, связанных со срывным режимом, совпадает с частотой собственных колебаний или близкими к ней гармониками бетонных вентиляционных каналов, поворотных элементов, переходников и т.д., то может возникнуть так называемый помпаж, который представляет непосредственную опасность для бетонных и металлических конструкций вышеперечисленного типа. Известны случаи разрушения бетонных вентиляционных каналов вследствие возникновения эффекта «помпажа». Есть два способа избежать работы в опасной зоне для осевого вентилятора:

1) установить противосрывное устройство типа «воздушный сепаратор» или «лопаточный сепаратор» (рис. 8). Описаний данных устройств достаточно в литературе. Принцип действия их заключается в том, что турбулентный и возмущенный слой воздушного потока, отброшенный на периферию под воздействием центробежных сил, посредством воздушного канала выводится в зону, удаленную от непосредственной зоны всасывания вентилятора. Таким образом, дальнейшее наращивание возмущенного слоя на лопатках прекращается, исчезают хлопки и пульсация и характерная «впадина» на кривой характеристике вентилятора сглаживается.

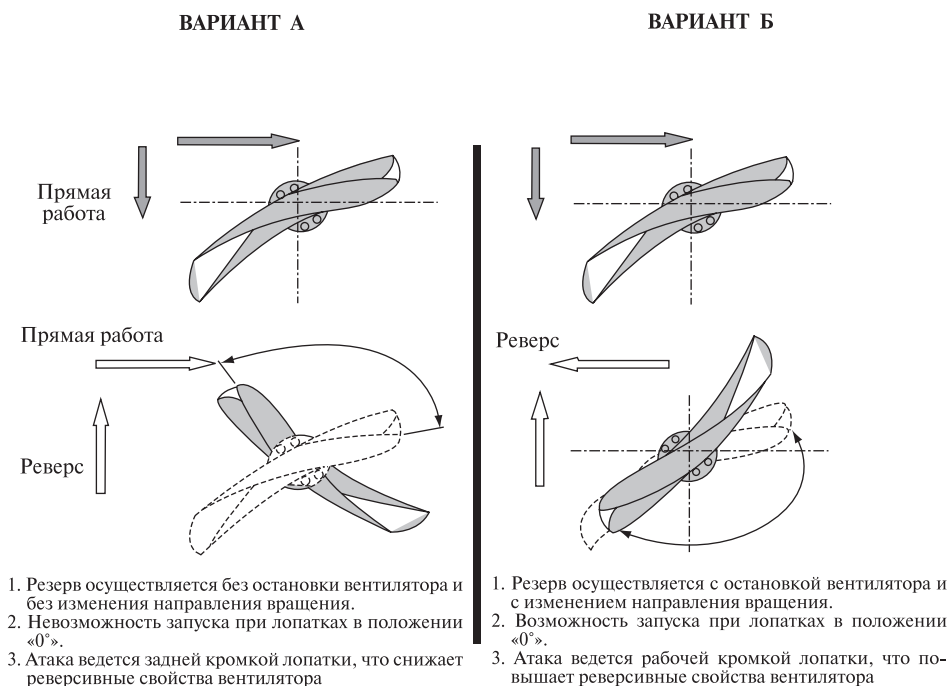


Рис. 7. Варианты реверсирования воздушной струи

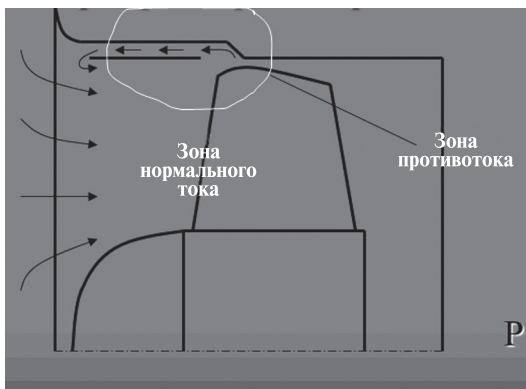


Рис. 8. Схема противосрывного устройства типа «воздушный сепаратор»

Описанное явление достаточно исследовано в аэродинамической лаборатории ZITRON и не получило дальнейшего развития в проектах вентиляторов компании по причине существенного их удорожания с применением данного устройства, некоторого снижения КПД вентилятора (до 2% — по литературным источникам и до 4% — по результатам наших ис-

пытаний) и появления в шумовом спектре вентилятора характерной гармоничности сиренного типа (для устройств типа «лопаточный сепаратор»);

2) установить устройство на базе так называемой трубки Петермана (рис. 9). Целью данного устройства является не исправление аэродинамических характеристик осевых вентиляторов, а предупреждение диспетчера о том, что вентилятор начинает работать в срывном режиме. Принцип работы такого устройства следующий: при входе вентилятора в срывной режим на двух приемниках — трубке и отверстия — появляется некоторый перепад давления, который по мере углубления срывного режима увеличивается. Подключение данных приемников к дифференциальному манометру показано на рис. 9. Дифференциальный манометр тарируется на перепад давлений не менее 50 Па. В случае появления данного сигнала и воздействия его в течение минимального установленного времени (не менее 2 мин) система АСУ, к которой подключен данный ВГП, генерирует предупреждение для обслуживающего персонала в виде звуковой и световой сигнализации с возможностью дальнейшего отключения вентилятора для установления причины возникновения срывного режима.

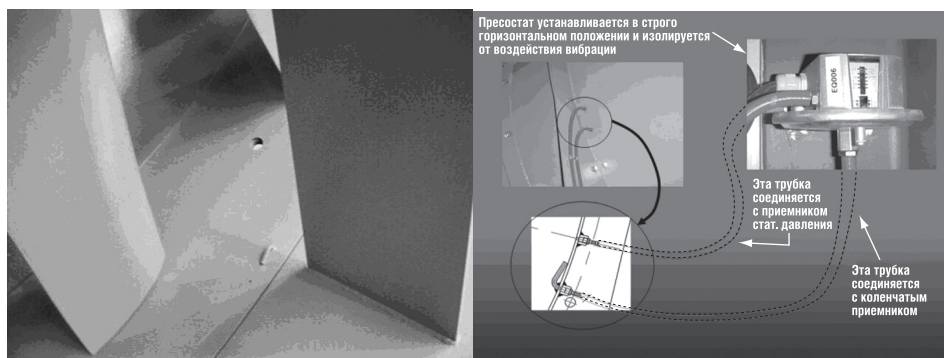


Рис. 9. Трубка Петермана и схема ее подключения к дифференциальному манометру

Одним из самых крупных и значительных достижений компании ZITRON является создание уникальной аэродинамической лаборатории, рассчитанной на испытания крупных ВГП с рабочими колесами до 5500 мм в диаметре и мощностью до 10 МВт. Лаборатория представляет собой современное технологическое сооружение, оснащенное новейшими измерительными приборами и системами, и сертифицировано по АМСА-стандарту (рис. 10).

Принцип аэродинамического стенда основан на применении вспомогательного вентилятора в качестве элемента, изменяющего сопротивление камеры всасывания и позволяющего получать различные точки на кривой характеристики вентилятора в процессе его испытаний (камера «с надду-

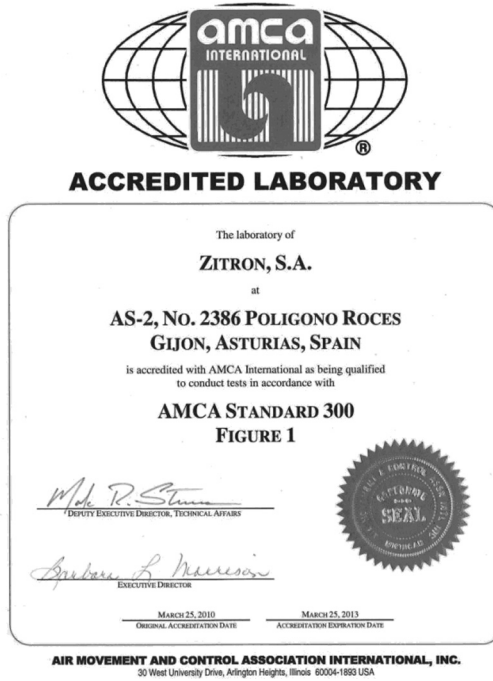


Рис. 10. Сертификат AMCA на аккредитацию аэродинамической лаборатории ZITRON

вом»). Размеры испытательной части лаборатории в сечении представляют собой прямоугольник 8×7 м (ширина \times высота) и позволяет проводить натурные аэродинамические комплексные приемочные испытания в присутствии заказчика, с получением рабочих точек на кривых вентилятора в режиме онлайн. Схема лаборатории представлена на рис. 11.

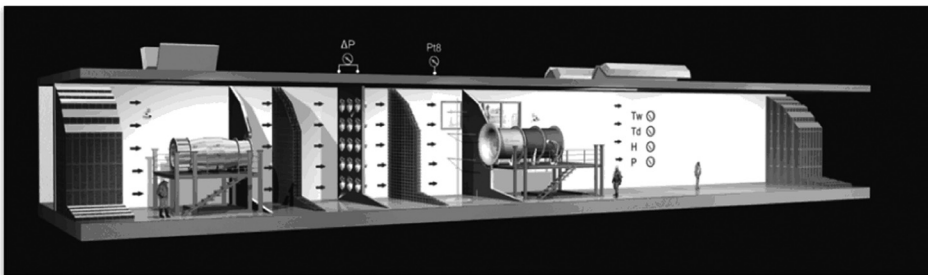


Рис. 11. Схема аэродинамической лаборатории

Изначальной целью создания данной лаборатории было требование обеспечить проведение натуральных приемочных испытаний и избежать «малоубедительных» с точки зрения заказчика модельных испытаний на уменьшенных типоразмерах. В процессе испытаний проводится комплексный мониторинг систем защиты различных элементов вентилятора и электродвигателя, подключаются датчики контроля вибрации и температуры, защита от противосрывных режимов. Приемка результатов испытаний ведется непосредственно из центра управления испытаниями.

Пересчет рабочей точки в процессе испытания ведется с условий входа на условия нормальных атмосферных параметров и на рабочие условия в случае, если они отличаются от нормальных атмосферных. Например, при работе вентилятора на высоте 1000 м над уровнем моря и соответствующей плотности воздуха.

Лаборатория компании ZITRON является самым крупным технико-технологическим сооружением в мире, предназначенным для лабораторных исследований осевых вентиляторов. В качестве несомненных преимуществ данной лаборатории следует указать возможность получения разрешительной документации на сертификацию и применения вентилятора для шахт и рудников по результатам проведенных приемочных испытаний, не ожидая для этого окончания монтажных и пусконаладочных работ, и дальнейших промышленных испытаний. Кроме того, еще одним несомненным достоинством лаборатории с «наддувом» является возможность определения реальных сопротивлений элементов шахтной сети. Например, с помощью вспомогательного вентилятора можно продуть реальный диффузор при различных производительностях и построить реальную кривую сопротивления данного элемента, не прибегая к эмпирическим формулам и экспериментальным зависимостям. Также компании ZITRON неоднократно приходилось прибегать к созданию моделей технического сооружения в соответствующей шкале (например, гидротехнический тоннель в шкале 1 : 100) и определять его реальное сопротивление для возможности оптимизации предлагаемой системы вентиляции.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И ГАЗОВЫМ РЕЖИМОМ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Аннотация. В статье предложены простые и безопасные решения вопросов, связанных с управлением шахтной вентиляцией, ремонтом вентиляционных сооружений, а также с изоляцией поверхностей действующих и вновь проводимых горных выработок. В частности рассмотрено применение автономных систем напыления при отсутствии в вентиляционных сооружениях каких-либо источников энергии, что не позволяет использовать традиционное оборудования для ремонтных работ.

Ключевые слова: вентиляция, угольная шахта, изоляция, ремонт.

Summary. The paper proposed a simple and safe deal controlled mine ventilation, ventilation repair facilities as well as insulated surfaces of existing and newly conducted mining. Specifically examined the use of autonomous systems in the absence of deposition in ventilation facilities of any sources of energy, which prevents the use of traditional equipment for the repair work.

Keywords: ventilation, coal mine, sealing, maintenance.

Проблемы безопасного производства и системной деятельности предприятий горной промышленности приобретают в настоящее время все большую актуальность и остроту во всех странах мира. Россия не является исключением.

Увеличение глубины горных работ приводит к повышенным нагрузкам на вентиляционные сооружения и контур прилегающего к ним горного массива. В результате наблюдаются явления кливажа угля и породы в бортах горных выработок на сопряжении с вентиляционными сооружениями, а также в местах примыкания перемычки к кровле. Результатом данных процессов становятся так называемые прососы чистого воздуха через трещины в массиве и сооружениях, что приводит, во-первых, к необходимости увеличения объема воздуха, требуемого для проветривания выработок, во-вторых, к попаданию кислорода в отработанное пространство, что в свою очередь способствует возникновению эндогенных пожаров. В то же время высокая метанообильность угольных пластов может привести к по-

ступлению метана в горные выработки через вышеуказанные трещины. Так как зачастую вентиляционные сооружения в составе сети горных выработок образуют ниши, сложные для проветривания, повышается вероятность возникновения в них опасных концентраций метана.

В связи с необходимостью снижения капитальных затрат при подготовке шахтного поля появилась тенденция проведения наклонных вскрывающих капитальных выработок по угольному пласту или с его присечкой, с выемкой полезного ископаемого. В дальнейшем наклонные выработки используются в качестве воздухоподающих вентиляционных стволов при проветривании шахты. При отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, возникает необходимость проведения мероприятий по профилактике возникновения эндогенных пожаров, а именно герметизация бортов и кровли (в отдельных случаях – почвы) горных выработок. Дополнительным эффектом подобных действий будет снижение аэродинамического сопротивления выработки, что улучшит показатели проветривания шахты в целом.

Компания «Шахтострой» предлагает простые и безопасные решения вопросов, связанных с управлением шахтной вентиляцией, ремонтом вентиляционных сооружений, а также с изоляцией поверхностей действующих и вновь проводимых горных выработок.

Разработанный в России двухкомпонентный герметик «Мастерфлекс» предназначен для решения различных задач, связанных с управлением вентиляцией, предотвращения утечек воздуха внутри и вокруг шахтовых перемычек, изоляции поверхностей горных выработок для предотвращения выделения газа, защиты поверхностей выработок от воздействия шахтной среды. Герметик представляет собой полимерный материал, который после перемешивания компонентов в смесительной емкости насоса в виде набрызга наносится на обрабатываемую поверхность ровными слоями. После высыхания первого слоя повторно наносятся последующие слои для получения покрытия требуемой толщины. В результате формируется твердое прочное эластичное покрытие. Простота смешивания, удобная упаковка жидкого и сухого компонентов позволяют свести к минимуму ошибки при применении. Эластичность, прочность, способность к деформации обеспечивают целостность покрытия даже после воздействия повышенного горного давления на окружающий массив. Отличная адгезия обеспечивает долговременную эффективность.

В настоящее время герметик «Мастерфлекс» применяется на шахтах Кузбасса. Так, на шахтах ОАО «Распадская угольная компания» с целью предотвращения утечек воздуха осуществляется обработка вентиляционных и изолирующих перемычек. На шахтах ОАО «УК „Заречная”» герметик «Мастерфлекс» применялся для устранения «прососов» через изолирующие перемычки в связи с возникновением задымления в отработанной лаве. На шахте шахтоуправления «Анжерское» материал «Мастерфлекс»

применялся для герметизации поверхности взрывоустойчивой перемычки с целью предотвращения поступления метана из аварийного участка лавы. В связи с отсутствием на участке проведения работ каких-либо источников энергии перемешивание компонентов производилось вручную, а нанесение материала на поверхность перемычки — с помощью малярной кисти. Несмотря на сложность нанесения, результат обработки оказался положительным.

На шахтах ОАО «Кузбассразрезуголь», ОАО «ОУК „Южкузбассуголь”» и ОАО «Распадская угольная компания» в настоящее время успешно производится изоляция бортов и кровли наклонных вентиляционных стволов, пройденных по угольному пласту, с целью профилактики эндогенных пожаров.

Часто проблемы с утечками воздуха или с поступлением опасных газов через поврежденные вентиляционные сооружения осложняются отсутствием каких-либо источников энергии, что не позволяет использовать традиционное оборудование для ремонтных работ. Практический опыт показывает, что в таких условиях весьма эффективным является применение автономных систем напыления торговой марки Touch'n Seal (производства США) — комплекты Mine Foam и Rib & Roof. Комплект состоит из двух металлических баллонов с компонентами, подающих шлангов и распылителя. Подготовка комплекта к работе занимает 2–3 мин. Установка обеспечивает подачу непрерывного потока изолирующего материала и нанесение его через пистолет-распылитель на поверхность. Изолирующее покрытие полностью застывает менее чем через 3 мин, обеспечивая надежную герметизацию трещин и полную изоляцию поверхности объекта. Изолирующее покрытие отличается хорошей адгезией к большинству материалов, применяемых в шахте.

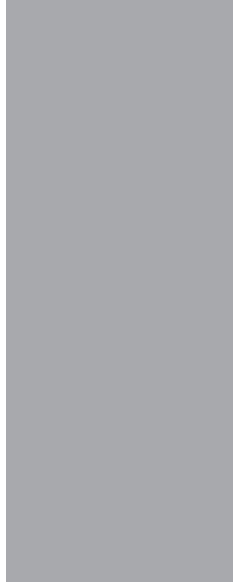
В настоящее время вопросы устранения утечек воздуха через поврежденные перемычки и предотвращения поступления метана через перемычки из отработанного пространства лав с применением автономных систем напыления Touch'n Seal, Mine Foam и Rib & Roof успешно решаются на шахтах ОАО «ОУК „Южкузбассуголь”», ОАО «Кузбассразрезуголь», ОАО «УК „Заречная”». Кроме того, с помощью данной продукции успешно решаются проблемы изоляции дегазационных ниш подготавливаемых выемочных участков.

Немаловажное значение играет обеспечение высокой скорости возведения новых блочных вентиляционных сооружений (перемычек), особенно при возникновении аварийных ситуаций. Для этой цели компания «Шахтострой» предлагает автономные клеящие системы торговой марки Touch'n Seal, Mine Block Mortar, состоящие из металлического баллона с клеем и пистолета с присоединенным шлангом. Подготовка комплекта к работе занимает менее 1 мин. Специальный клей превосходно склеивает стандартные блоки, заменяя традиционный цементный раствор и создавая

усиленный поверхностный слой. В результате применения клея обеспечивается сильное, надежное сцепление и герметичное уплотнение между блоками. В процессе высыхания клея прочность переемычки быстро увеличивается.

Автономные клеящие системы Touch'n Seal и Mine Block Mortar в настоящее время успешно применяются на шахте ОАО «Кузбассразрез-уголь».

Компания «Шахтострой» постоянно осуществляет поиск и разработку новых материалов, предназначенных для обеспечения промышленной безопасности на горных предприятиях. Сотрудники компании будут рады проконсультировать и предоставить рекомендации по всем вопросам применения продукции. Веб-сайт компании: www.shahtostroy-nk.ru



БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 622.812

М. РОЙТЕР,
ген. директор

М. КРАХ,
докт.

Ю. ВЕКСЛЕР,
докт. техн. наук, проф.

(Компания «Marco системный анализ и развитие ГмбХ»,
г. Дахау, Германия)

В. СЕНКУС,
докт. техн. наук, проф.

К. ЛУКИН,
канд. техн. наук, проф.

(Новокузнецкий институт, филиал
Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, Россия)

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ И ПОРОГА ВЗРЫВАЕМОСТИ МЕТАНА В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

Аннотация. На основе автоматизированной системы управления лавой marco приводятся возможные методы работы комбайна в зависимости от повышения концентрации метана в рабочей зоне и повышения нижнего предела взрываемости метана путем впрыскивания воды в тонкодиспергированном виде в поток воздуха. Для предлагаемых методов разработаны датчик метана и форсунки.

Ключевые слова: система управления, лава, комбайн, датчик метана, форсунка, диапазон взрываемости метана.

Summary. Based on the marco automated control system, the following describes possible methods of controlling the shearer depending upon the rise in methane concentration in the area being mined and on the rise in the methane explosion threshold by injecting finely dispensed water into the air stream.

Keywords: operating system, lava, shearer, methane sensor, an atomizer, humidity, methane explosion threshold.

В электрогидравлической системе управления marco предусмотрены функции отслеживания и регулирования газовой обстановки в лаве. Используемые с этой целью элементы системы показаны на рис. 1.

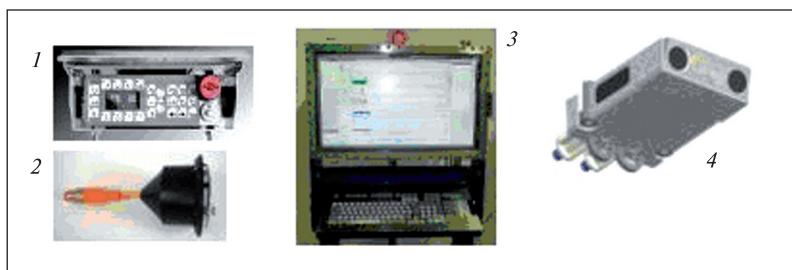


Рис. 1. Некоторые элементы системы управления:

- 1 – локальный электронный пульт управления pm32; 2 – термокаталитический датчик метана; 3 – подземный взрывозащищенный компьютер magco с сенсорной панелью и встроенной камерой; 4 – мультидатчик

Прибор управления устанавливается на каждой секции крепи и обеспечивает полную или частичную автоматизацию комбайновых и струговых механизированных комплексов, считывает и обрабатывает показания датчиков давления в гидроцилиндрах, ход цилиндра передвижки, пространственную ориентацию секций крепи, положение конвейера и комбайна.

Подземный компьютер с операционной системой Windows 7 или Linux и жидкокристаллическим дисплеем 22" с высоким разрешением осуществляет сбор и обработку данных от приборов управления pm32, визуализирует технологические процессы в реальном времени в графической и текстовой формах, передает данные через интерфейс в центральную диспетчерскую на поверхности.

Мультидатчик с устройством записи данных, состоящий из наклономера, инфракрасного и ультразвукового датчиков, закрепляется на стойке секции крепи и определяет положение комбайна.

Датчик метана измеряет изменение концентрации метана при резании пласта шнеками комбайна.

Управление газовыделением из пласта и отбитого угля

Поставленная задача может быть решена путем изменения скорости подачи комбайна и глубины резания пласта. Датчик метана следует располагать на перекрытии секции крепи (рис. 2), и он должен передавать данные об изменении концентрации метана при резании угля в прибор управления pm32 (рис. 3). Одновременно мультидатчик передаст данные о положении комбайна.

При работе комбайна метан выделяется из обнажаемого забоя пласта и отбитого угля. Мелкая кусковатость угля при его измельчении на малой скорости подачи приводит к большему выделению метана, чем при крупной кусковатости при большей скорости подачи. Обеспечение необходимого объема отбитого угля может быть достигнуто при меньшей глубине

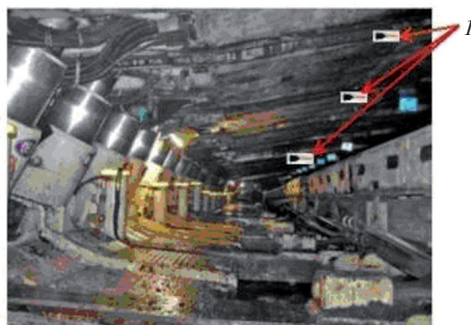


Рис. 2. Датчики метана (I) на перекрытиях секций крепи в лаге

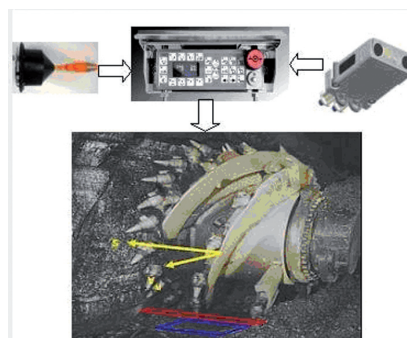


Рис. 3. Схема управления комбайном

резания и большей скорости подачи. Вариации скорости подачи и глубины резания позволят регулировать процесс газовыделения.

При повышении концентрации выделяемого метана необходимо уменьшить скорость подачи комбайна вплоть до его остановки. На следующем цикле может быть уменьшена глубина захвата комбайна. Предупреждение о снижении скорости передается машинисту комбайна звуковым сигналом прибора управления в сочетании с мигающим красным светом. Новая рекомендуемая скорость подачи может быть рассчитана и отображена на дисплее прибора рт32.

Таким образом, путем снижения скорости подачи комбайна и глубины резания можно регулировать интенсивность выделения метана. Действия машиниста комбайна, согласованные с системой управления секцией, позволяют постоянно поддерживать уровень газовыделения ниже границы отключения электроэнергии в лаге.

Повышение нижней границы взрываемости метана

Важнейшим фактором обеспечения безопасности работ в лагах является недопущение образования взрывчатой смеси метана в шахтной атмосфере. Многими исследованиями установлена зависимость диапазона взрываемости метановоздушной смеси от влажности воздушной струи. Авторами [1] приводятся соответствующие зависимости (рис. 4).

На диапазон взрываемости метана влияют и некоторые другие факторы. Нижний предел взрываемости метана снижается при наличии в воздухе взвешенной угольной пыли. В статье [2] показано уменьшение нижнего предела взрываемости метана с увеличением атмосферного давления при углублении горных работ.

Итак, к повышению нижнего и снижению верхнего пределов взрываемости пылеметановоздушной смеси может привести увеличение влажно-

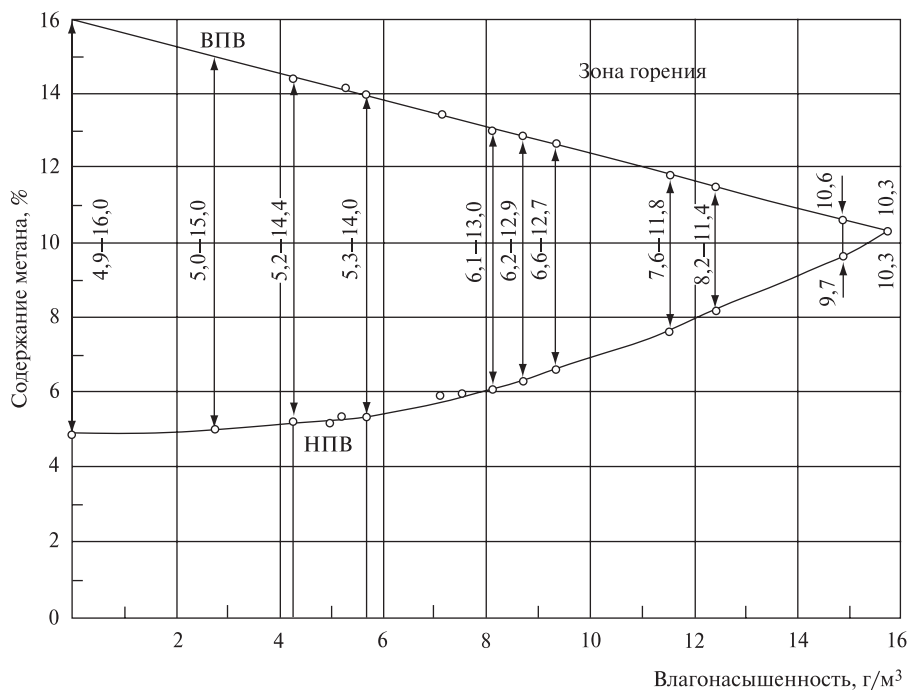


Рис. 4. Диапазоны взрываемости и горения метана

сти атмосферы. Увеличения влажности атмосферы в лаве можно достичь путем впрыскивания воды в тонкодиспергированном виде в поток воздуха. В статье [3] показано, что метан, выделяясь из угольных пластов, образует в шахтной атмосфере «пузырьки» диаметром 40 ± 20 мкм, всплывающие к кровле. Впрыскиваемая влага находится в воздухе во взвешенном состоянии и выталкивается в сторону «пузырьков» метана вследствие меньшей плотности, чем у воздуха, обволакивает их и создает защитный барьер флегматизации, уменьшающий диапазон взрываемости.

Для кратковременного впрыскивания тонкодиспергированной воды с размером капель 10–15 мкм фирмой Marco разработаны форсунки диаметром 0,8 мм с расходом воды около 20 л/мин (рис. 5). Чтобы получить тонкодиспергированные капли, необходимо давление воды порядка 300 бар. Были проведены испытания форсунок (рис. 6).

Форсунки должны располагаться так, чтобы тонкодиспергированная влага полностью заполняла рабочее пространство, а их количество в работе зависит от положения комбайна по длине забоя (рис. 7).

Форсунки имеют отражающую поверхность, чтобы снизить расход энергии на трение жидкости. Количество впрыскиваемой воды зависит от

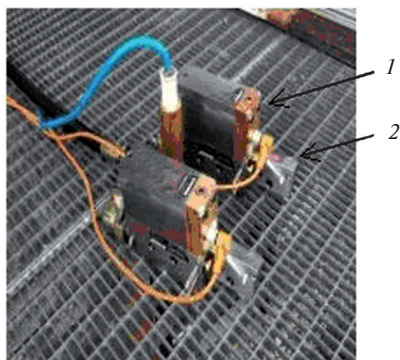


Рис. 5. Клапаны управления (1) форсунками (2)



Рис. 6. Испытания форсунок

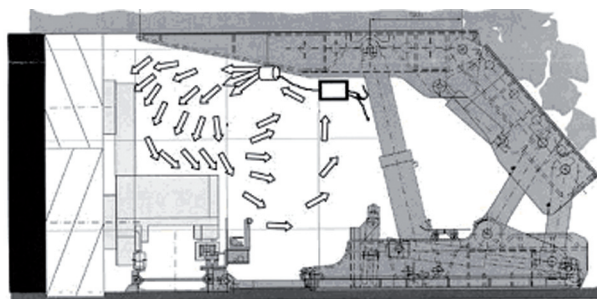


Рис. 7. Тонкодиспергированная влага в рабочем пространстве участка лавы

объема воздуха, подаваемого для вентиляции забоя. Разработаны два типа форсунок с клапанами. Группа форсунок с большим объемом впрыскивания воды используется для первоначального увлажнения сухого воздуха. Форсунки с меньшим расходом служат для поддержания полученной влажности. Элементы сети форсунок в лаве показаны на рис. 8.

Клапаны форсунок включаются системой управления крепью, которая получает информацию о положении комбайна и скорости его подачи. Команда на включение клапанов может последовать от датчиков метана, установивших повышение концентрации метана в районе секций крепи, где работает комбайн.

На рис. 9 приведен пример возможной реализации предлагаемого метода при расположении форсунок на каждой второй секции крепи.

Кратковременное впрыскивание тонкодиспергированной влаги с размером капель 10–15 мкм производится в течение 3–5 с под давлением 300 бар перед и (или) за работающим шнеком комбайна в зависимости от направления его движения по лаве.

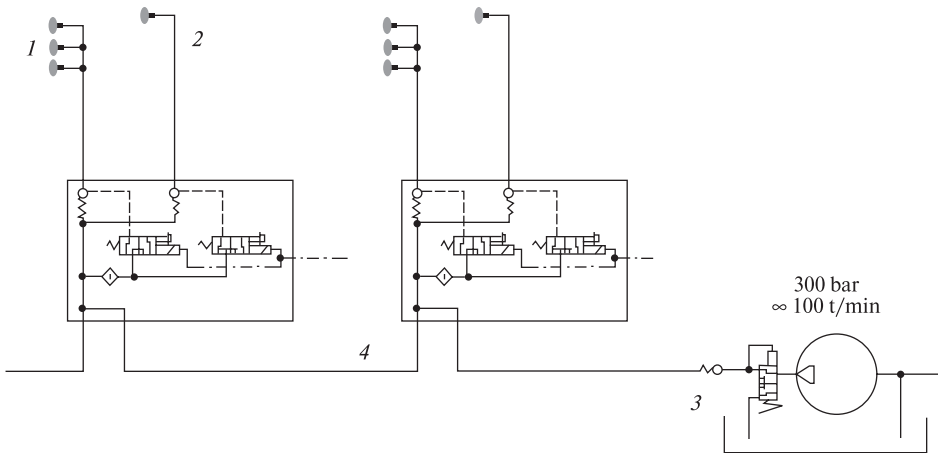


Рис. 8. Сеть форсунок:
 1, 2 — три форсунки и одна форсунка в корпусе; 3 — насос (300 бар и 100 л/мин);
 4 — трубопровод

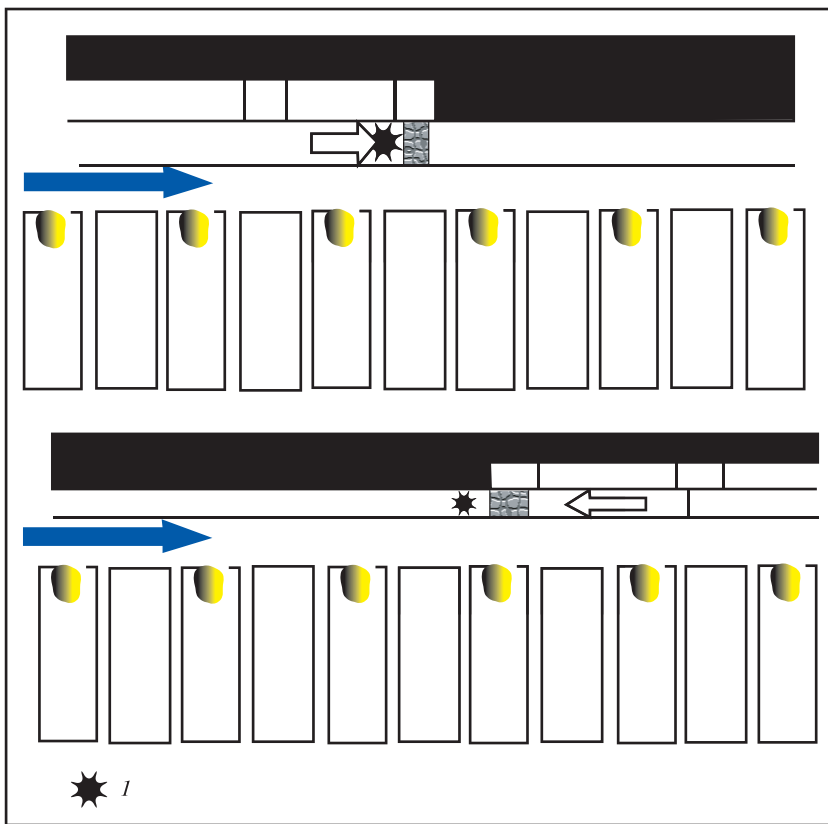


Рис. 9. Увеличение воздушной струи в лаве:
 1 — впрыскиваемая тонкодиспергированная вода; синие стрелки — направление
 воздушной струи; черно-белые стрелки — направление движения комбайна; желтые
 приборы на перекрытиях крепи — клапаны с форсунками

Диспергированные струи воды от форсунок направляются встречно потоку воздуха в зоны выделения метана, а начальные их части для безопасности закрыты защитным экраном, выступающим перед соплами форсунок на величину, превышающую расстояние от сопла до начала распада струи в 1,5–1,8 раза.

Предлагаемые варианты регулирования метановыделения и порога взрываемости метана могут дополнить уже существующие системы пылегазовой безопасности в очистных забоях.

Литература

1. Сенкус В. В. Коэффициент безопасности угольной шахты / В. В. Сенкус, Б. М. Стефанюк, К. Д. Лукин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 10. С. 23–27.
2. Колесниченко Е. А. Взрывы метана в шахтах в результате неконтролируемого снижения порога взрываемости / Е. А. Колесниченко, В. Б. Артемьев, И. Е. Колесниченко // Уголь. 2011. Январь. С. 15–18.
3. Стефанюк Б. М. Структура метана в выработках шахты / Б. М. Стефанюк, В. В. Сенкус, В. С. Гершгорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 10.

УДК 622.831.3:681.583.3

В. И. ГОЛИНЬКО,
докт. техн. наук, проф.
(Национальный горный университет,
г. Днепропетровск, Украина)

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛИЗАТОРОВ МЕТАНА

Аннотация. Приведены результаты исследований, направленных на улучшение динамических характеристик анализаторов метана. Предложены решения, позволяющие уменьшить постоянную времени датчиков метана и повысить надежность систем взрывозащиты.

Ключевые слова: метан, взрывоопасность, датчик, контроль, взрывозащита.

Summary. The results of researches, dynamic descriptions of methane analyzers directed on an improvement are resulted. Solutions which allow decreasing permanent time of sensors of methane and promoting reliability of the systems protecting from explosions are offered.

Keywords: methane, explosion hazard, detector, control, explosion protection.

По мере вовлечения в отработку угольных пластов, залегающих на больших глубинах, увеличивается число газодинамических явлений, в том числе таких наиболее опасных, как внезапные выбросы. Внезапные выбросы сопровождаются выносом значительного количества угля и газа в выработку. При этом содержание метана в месте выброса за относительно короткий промежуток времени может достигать 100%. Скорость нарастания содержания метана в выработке при этом иногда достигает 5%/с [1]. В этом случае для предотвращения взрывов метана и удушья рабочих особое значение имеет контроль состава и параметров рудничной атмосферы.

К настоящему времени как в Украине, так и за рубежом накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации приборов и аппаратуры автоматического контроля состава и параметров рудничной атмосферы, в том числе средств автоматического контроля метана [2, 3]. В условиях шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, анализаторы метана, предназначенные для использования в качестве средств газового контроля и отключения электроэнергии, согласно [4] должны обеспечивать время срабатывания защиты по объемной доле метана не более 0,8 с. Кроме того, для таких анализаторов дополнительно вводится требование ко времени срабатывания по скорости нарастания объемной доли метана, которое при скорости 0,5%/с не должно превышать 2 с [4].

С учетом требований [4] на основе термokatалитического метода была разработана аппаратура для быстродействующей защиты АТБ [5]. Однако из-за низкой помехоустойчивости и частых ложных срабатываний при отсутствии газодинамических явлений применение такой аппаратуры приводило к необоснованным простоям и существенным экономическим потерям, что ограничило возможность ее применения. В настоящее время вопрос совершенствования быстродействующих средств или поиска новых подходов к разработке системы быстродействующей защиты остается открытым.

Целью настоящей публикации является поиск решений, направленных на уменьшение времени срабатывания средств защиты.

Быстродействие термokatалитических анализаторов метана в первую очередь зависит от скорости протекания переходных газодинамических и термодинамических процессов в датчике метана. Известно, что в установленном режиме работы датчика и при применении в современных анализаторах миниатюрных термоэлементов пелисторного типа переходные процессы, связанные с нагревом элементов и обусловленные инерционностью электрических цепей, несущественно влияют на динамические характеристики анализатора метана [2]. Поэтому эти процессы в дальнейшем при решении вопроса, связанного с повышением быстродействия средств защиты, в работе рассматриваться не будут.

Выходной сигнал измерительного моста анализатора пропорционален концентрации метана в реакционной камере $C_{\text{МК}}$, которая в установленном режиме работы термokatалитического датчика пропорциональна потоку метана, окисляющегося на каталитически активном элементе. В свою очередь эта концентрация зависит от концентрации метана в анализируемой смеси $C_{\text{МС}}$ и от соотношения диффузионной проводимости фильтра и эффективной диффузионной проводимости элемента [4]:

$$C_{\text{МК}} = C_{\text{МС}} \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Э}} + \gamma_{\text{Ф}}}, \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{Э}}$ и $\gamma_{\text{Ф}}$ — соответственно эффективная диффузионная проводимость термоэлемента и диффузионная проводимость фильтра, м³/с.

Переходные газодинамические процессы в термokatалитических датчиках, возникающие при изменении концентрации метана в анализируемой смеси, рассмотрены в работе [6]. В результате теоретического анализа этих процессов получены уравнения, описывающие изменение концентрации метана в реакционной камере. Для случая скачкообразного увеличения концентрации метана в атмосфере от $C_{\text{МС0}}$ до $C_{\text{МС}}$ уравнение имеет вид:

$$C_{\text{МК}} = \frac{\gamma_{\text{Ф}}}{\gamma_{\text{Э}} + \gamma_{\text{Ф}}} \left[C_{\text{МС0}} + (C_{\text{МС}} - C_{\text{МС0}}) \exp \left(- \frac{\gamma_{\text{Ф}} + \gamma_{\text{Э}}}{V_{\text{Р}}} t \right) \right]. \quad (2)$$

В частном случае, когда концентрация метана в газовой смеси изменяется от нуля до $C_{\text{мс}}$, уравнение (2) приобретает вид

$$C_{\text{мк}} = \frac{\gamma_{\text{ф}}}{\gamma_{\text{э}} + \gamma_{\text{ф}}} C_{\text{мс}} \left[1 - \exp\left(-\frac{\gamma_{\text{ф}} + \gamma_{\text{э}}}{V_{\text{р}}} t\right) \right]. \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) видно, что при скачкообразном изменении содержания метана в контролируемой среде его концентрация в реакционной камере, а следовательно, и выходной сигнал измерительного моста изменяются по экспоненциальной зависимости с постоянной времени:

$$\tau = \frac{V_{\text{р}}}{\gamma_{\text{ф}} + \gamma_{\text{э}}}. \quad (4)$$

С учетом реальных значений величины диффузионной проводимости металлокерамического фильтра серийных однокамерных термокаталитических датчиков и объема их реакционной камеры $\gamma_{\text{ф}} = \gamma_{\text{э}} = 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ и $V_{\text{р}} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$, постоянная времени составляет около 2 с.

Анализ выражений (2) и (4) показывает, что повысить быстродействие анализаторов возможно путем уменьшения объема реакционной камеры, а также за счет увеличения величин проводимостей $\gamma_{\text{ф}}$ и $\gamma_{\text{э}}$.

В термокаталитических анализаторах метана газообменный фильтр не только служит для сообщения реакционной камеры с анализируемой средой, но и является средством взрывозащиты. Здесь применяются керамические и металлокерамические фильтры, при изготовлении которых можно целенаправленно формировать величину гидродинамического сопротивления фильтра таким образом, чтобы газообмен через фильтр осуществлялся практически только за счет молекулярной диффузии. Толщина стенок фильтра и его пористость при этом выбираются из условия обеспечения необходимой проницаемости и прочности фильтра. С другой стороны, при большой диффузионной проводимости фильтра наблюдается перегрев активного элемента при взрывчатых концентрациях метана, приводящий к нарушению работоспособности анализаторов, и, кроме того, проявляется зависимость выходного напряжения датчика от активности элемента, загрязнения фильтра, а также нелинейный характер выходного напряжения измерительного моста в зависимости от величины тока при постоянной концентрации метана [7]. Таким образом, повышение быстродействия анализатора за счет увеличения величины диффузионной проводимости фильтра нецелесообразно.

Минимальный объем реакционной камеры однокамерных датчиков определяется необходимостью размещения двух термоэлементов, а также стоек для крепления элементов и теплоизоляционного экрана, необходимого для уменьшения взаимного теплового влияния термоэлементов при изменении пространственного положения датчика. Возможности дальнейшего уменьшения объема реакционной камеры в таких датчиках практиче-

ски исчерпаны. В то же время в двухкамерном датчике вследствие размещения в реакционной камере только одного элемента и отсутствия экрана объем реакционной камеры можно существенно уменьшить.

Следует отметить, что при уменьшении объема реакционной камеры одновременно уменьшается площадь поверхности фильтра. Поскольку диффузионная проводимость фильтра пропорциональна его площади [2], то при неизменной толщине стенок фильтра и его пористости это приводит к адекватному уменьшению диффузионной проводимости фильтра. Однако различный характер зависимости объема и площади поверхности реакционной камеры от ее линейных размеров при постоянной величине γ_3 позволяет при этом уменьшить постоянную времени анализатора. Так, при уменьшении линейных размеров реакционной камеры на 25%, что является вполне реальным по конструктивным и технологическим соображениям, объем реакционной камеры уменьшается практически в 2 раза, а площадь ее поверхности — в 1,56 раза. Согласно уравнению (4) расчетное значение постоянной времени при этом составляет 1,22 с.

В то же время при уменьшении геометрических размеров камеры и сохранении неизменной толщины стенок фильтра и его пористости возрастает прочность конструкции. Поэтому исходя из условий сохранения неизменной прочности камеры толщина ее стенок в двухкамерном датчике может быть несколько уменьшена, что приведет к увеличению ее диффузионной проводимости и уменьшению постоянной времени.

Определенный резерв повышения быстродействия появляется также при использовании двухкамерных датчиков с различными тепловыми режимами элементов. В отличие от серийных однокамерных датчиков, в которых высокая температура предварительного нагрева чувствительных элементов приводила к активации сравнительного элемента [8], в указанных двухкамерных датчиках температуру предварительного нагрева рабочего элемента можно увеличить с 400 до 420–430 °С. При этом величина эффективной диффузионной проводимости рабочего элемента увеличивается в 1,1 раза [3].

Указанное увеличение проводимостей γ_ϕ и γ_3 позволяет уменьшить постоянную времени анализатора до 1,1 с.

Увеличения быстродействия аппаратуры газового контроля можно также достичь при дополнительном контроле скорости нарастания и изменения концентрации метана по длине горной выработки (рис. 1).

Используя данные информационные признаки, еще в 90-х гг. XX в. была разработана аппаратура для быстродействующей защиты АТБ [5]. Однако при эксплуатации такой аппаратуры часто наблюдалось срабатывание защиты при отсутствии газодинамических явлений. Ложные срабатывания аппаратуры обуславливались прежде всего наличием звена дифференцирования сигнала. На выходное напряжение этого звена существенное влияние оказывают колебания напряжения в питающей сети, вызванные пуском и остановкой оборудования, электромагнитные помехи и др. Кроме

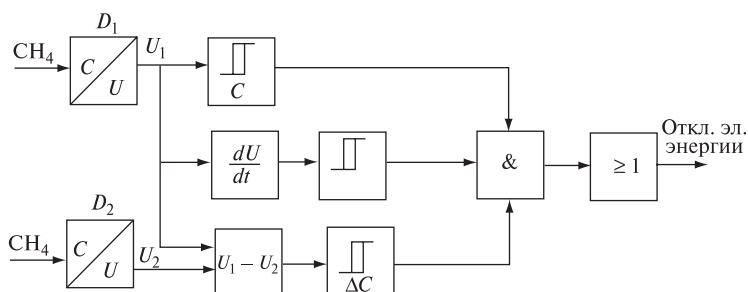


Рис. 1. Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля

того, при нормальной работе добычных и подготовительных участков независимо от места установки газоанализаторов их выходной сигнал постоянно флуктуирует, что в первую очередь обусловлено непостоянством процессов газовыделения и наличием турбулентных пульсаций. Следует отметить, что флуктуации выходного сигнала наиболее выражены при установке анализаторов на исходящих вентиляционных струях из очистных выработок и на участках подготовительных работ.

На рис. 2 приведен фрагмент записи выходного сигнала газоанализатора (полученной с использованием технических средств системы КАГИ), установленного на вентиляционном штреке 1-й западной лавы шахты «Краснолиманская». Здесь видно, что изменения выходного сигнала протекают с постоянной времени около 2 с. Это, по-видимому, связано со скоростью протекания переходных процессов в термокаталитическом датчике. Скорость изменения показаний анализаторов на отдельных участках при этом доходит до $0,1-0,2\%/с$. Наличие таких флуктуаций дополнительно снижает помехоустойчивость аппаратуры.

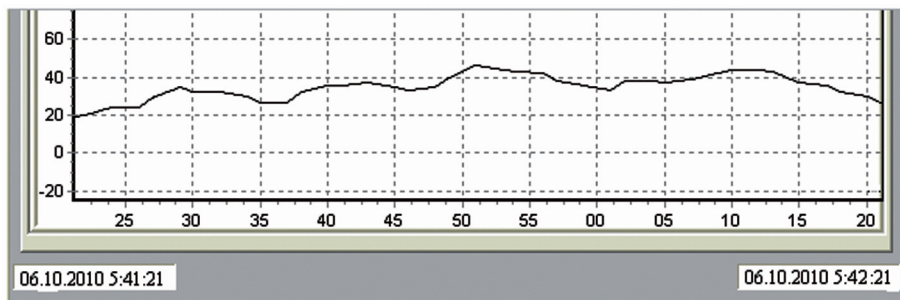


Рис. 2. Фрагмент записи выходного сигнала газоанализатора, установленного на вентиляционном штреке 1-й западной лавы шахты «Краснолиманская» (участок подготовительных работ УПР 3)

Более эффективное использование таких признаков, как скорость нарастания и изменение концентрации метана по длине горной выработки, для увеличения быстродействия аппаратуры газового контроля можно достичь при использовании современной микропроцессорной техники для получения информационных сигналов и передачи данных по линиям связи. В этом случае информационные параметры определяются расчетным путем, исключаются аналоговые узлы с низкой помехоустойчивостью и, кроме того, программным путем осуществляется очистка информационных сигналов от помех.

Уменьшение постоянной времени термokatалитических датчиков и использование дополнительных информационных признаков позволяют повысить быстродействие аппаратуры газового контроля, однако окончательное решение вопроса совершенствования быстродействующих средств остается открытым.

Анализ существующих способов контроля содержания метана показывает, что наибольшее быстродействие средств газового контроля может быть обеспечено при применении оптического абсорбционного и ультразвукового методов.

К недостаткам этих способов измерения относится существенное влияние на результаты измерения температуры, давления, влажности, наличия углекислого газа и других газовых примесей. Однако основным фактором, который сдерживает применение этих способов измерения, является высокая запыленность рудничного воздуха в месте установки анализаторов.

Очевидно, что наивысшее быстродействие оптического или ультразвукового датчика может быть обеспечено при установке источников и приемников излучения непосредственно в анализируемом газовом потоке. Однако в этом случае на источник и приемник излучения происходит интенсивное осаждение пыли, что приводит к значительным погрешностям измерения и в конечном счете к нарушению работоспособности анализаторов. Учитывая то, что датчики быстродействующей аппаратуры газового контроля устанавливаются в местах интенсивного пылеотложения (призбойное пространство подготовительных выработок и места сопряжения очистных и подготовительных выработок), где концентрация пыли может достигать 500 мг/м^3 и более, процесс накопления пыли на незащищенных элементах может протекать весьма интенсивно, что практически исключает применение не защищенных от осаждения пыли чувствительных элементов.

Необходимость защиты источников и приемников излучения от загрязнения ведет к увеличению инерционности измерителей и к усложнению их конструкции. Обычно в измерительных приборах, работающих в запыленной среде, источник и приемник излучения защищают при помощи нескольких цилиндрических или конических диафрагм, между которыми образуются карманы для осаждения пыли [9]. Количество диафрагм и расстояние между ними обычно подбирают из условия отсутствия кон-

вективного переноса запыленной анализируемой среды в карман с оптическим элементом. Однако наличие элементов защиты, с одной стороны, увеличивает постоянную времени датчиков, а с другой — усложняет процесс их периодического обслуживания. Все это обуславливает то, что до настоящего времени не удалось создать надежных, быстродействующих средств газового контроля с использованием оптического и ультразвукового методов измерения.

Альтернативным решением вопроса может быть создание анализаторов метана, в которых одновременно используются два датчика: (1) основной — термокаталитический и (2) вспомогательный малоинерционный — оптический или ультразвуковой.

Структурная схема одного из вариантов аппаратуры газового контроля с использованием двух датчиков метана приведена на рис. 3.

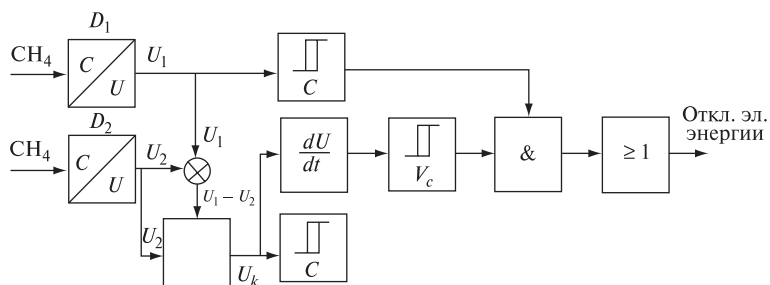


Рис. 3. Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком

В данном случае основным является высокостабильный, но относительно инерционный термокаталитический датчик D_1 , выходной сигнал которого используется для формирования сигнала телеизмерения, сигнала на отключение электроэнергии и корректировки выходного сигнала малоинерционного датчика D_2 . Датчик D_2 обеспечивает выдачу сигнала на отключение электроэнергии при достижении недопустимой концентрации метана и при недопустимой скорости изменения концентрации метана.

Отличительной особенностью аппаратуры, приведенной на рис. 3, является наличие корректирующего блока БК, который в зависимости от знака и величины напряжения рассогласования $\Delta U = U_1 - U_2$ с заданной постоянной времени осуществляет коррекцию выходного напряжения быстродействующего датчика D_2 .

В установившемся режиме работы при постоянной концентрации метана и отсутствии иных факторов, влияющих на величину выходного напряжения датчика D_2 , величина U_k практически равна напряжению U_1 . При медленном изменении величины напряжения U_2 , вызванного накоплением пыли на оптических элементах, изменением температуры, давления, относительной влажности, временным изменением параметров источника

излучения и приемника в результате корректировки величины выходного напряжения датчика D_2 , величина U_k постоянно приводится в соответствие со значением выходного напряжения высокостабильного термокаталитического датчика D_1 . В случае быстрого изменения величины напряжения U_2 до недопустимого значения концентрации или с недопустимой скоростью, вызванного, например, газодинамическим явлением, вследствие инерционности процесса коррекции, выходное напряжение на выходе блока коррекции U_k практически повторяет изменения U_2 , что приводит к появлению сигнала на выходе пороговых устройств и срабатыванию системы защиты.

Для надежной работы рассмотренной быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком важное значение имеет правильный выбор скорости коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика D_2 . С одной стороны, эта скорость должна позволять практически не снижать чувствительность аппаратуры при возникновении газодинамических явлений, а с другой — своевременно обрабатывать возможные изменения выходного сигнала вследствие воздействия неконтролируемых факторов.

С позиции обеспечения быстродействия анализаторов метана скорость коррекции необходимо выбирать на порядок меньше порога срабатывания по скорости нарастания объемной доли метана [4], что составляет 0,05%/с.

Процессы изменения температуры, давления, относительной влажности, параметров источника излучения протекают весьма медленно и не являются в данном случае лимитирующими. Поэтому с позиции обработки возможных изменений выходного сигнала быстродействующего датчика вследствие воздействия неконтролируемых факторов требуемое значение скорости коррекции в первую очередь определяется влиянием на выходной сигнал датчика пыли. Для оценки требуемого значения скорости коррекции рассмотрим оптический адсорбционный датчик с узкополосным источником излучения с длиной волны, соответствующей максимуму поглощения метана.

Длины волн максимального поглощения, характерные для метана, составляют 3,31 и 7,7 мкм. Связь между интенсивностью падающего потока излучения J и количеством энергии J_n , поглощенной бесконечно тонким слоем dx анализируемого газа в спектральном интервале dv , в соответствии с законом Бугера [9] имеет вид:

$$J_n = -KJdx dv, \quad (5)$$

где K — коэффициент поглощения;

ν — волновое число ($\nu = 1/\lambda$, λ — длина волны в мкм).

При постоянной длине волны излучения, толщине слоя смеси x с концентрацией метана C решение уравнения (5) имеет вид [9]

$$J_i = J_0 (1 - \exp(-ACx)), \quad (6)$$

где A — коэффициент поглощения при длине волны λ , не зависящий от концентрации газа, характерный для молекулы поглощающего газа.

При контроле дозрывных концентраций метана и расстоянии между источником и приемником излучения до нескольких дециметров выражение (6) может быть представлено в виде линейной зависимости:

$$J_n = ACxJ_0. \quad (7)$$

Относительное значение поглощенной энергии в этом случае составляет

$$J_n/J_0 = ACx. \quad (8)$$

С учетом величины коэффициента поглощения для длин волн максимального поглощения 3,31 и 7,7 мкм [9] относительное значение поглощенной энергии при измерительной базе датчика 0,1 м доходит до 0,01/% CH_4 .

Концентрация пыли в призабойном пространстве подготовительных выработок и в местах сопряжения лавы с подготовительной выработкой, где возможна установка быстродействующих анализаторов метана, может достигать 1000 мг/м^3 , а скорость ее изменения доходит до $100 \text{ мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$. При анализе процесса поглощения оптического излучения пылью обычно исходят из известной зависимости ослабления света отдельной частицей пыли. Она базируется на классическом выражении, описывающем рассеивание света на частицах пыли [9], и представляет собой оптическое сечение частички:

$$S_p = 2S_d - S_\theta = \frac{\pi \cdot d^2}{4} [2 - \varphi(z)], \quad (9)$$

где S_d — геометрическое сечение частички, м^2 ;

S_θ — сечение, пропорциональное свету, рассеянному частичкой в область малых углов в границах угловой апертуры фотоприемника, которая составляет 2θ ;

d — диаметр частички, м;

$\varphi(z)$ — безразмерная функция рассеивания света на сферической частичке;

$z = \rho \cdot \theta = \frac{\pi d}{\lambda} \theta$ — параметр дифракции;

θ — угол наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка, рад;

λ — длина волны света, падающего на частичку, м.

Функция рассеивания света на сферической частичке сложным образом зависит от размера частички, длины волны излучения и угла наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка [10]:

$$\varphi(z) = 1 - I_0^2(z) - I_1^2(z), \quad (10)$$

где I_0, I_1 — шаровые функции Бесселя нулевого и первого порядка.

При малых углах наблюдения, характерных для адсорбционных датчиков, в случае когда размеры частичек меньше или сопоставимы с длиной волны света, оптическое сечение частички практически определяется ее

геометрическим сечением. Поэтому при разработке измерителей запыленности, основанных на оптическом абсорбционном методе, величину светового потока, поглощенного пылью, упрощенно принимают пропорциональной суммарной площади сечения частиц пыли, находящихся в измерительном объеме.

Взвешенная в воздухе пыль всегда является полидисперсной, причем дисперсный состав пыли в значительной мере зависит от расстояния до источника пылеобразования. В местах установки датчиков быстродействующих анализаторов метана в воздухе содержится значительное количество крупных частичек пыли с размерами до 60 мкм. Среднемедианный диаметр пыли в таких местах доходит до 10 мкм и более.

Расчеты показывают, что при концентрации угольной пыли 1000 мг/м^3 со среднемедианным диаметром частичек пыли 10 мкм и при измерительной базе датчика 0,1 м относительное значение поглощенной энергии J_n/J_0 составляет около 0,01. Таким образом, при максимально возможной запыленности рудничной атмосферы относительное значение поглощенной энергии практически соответствует поглощению излучения при объемном содержании метана 1%. В таком случае при скорости изменения концентрации пыли $100 \text{ мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ изменение выходного сигнала малоинерционного оптического анализатора может доходить до 0,1%/с.

Учитывая возможную скорость изменения выходного сигнала малоинерционного оптического анализатора, вызванную изменением концентрации пыли, скорость коррекции, выбранную нами с позиции обеспечения быстродействия анализаторов метана, следует несколько увеличить и принять равной 0,1%/с.

При применении малоинерционного датчика метана, основанного на ультразвуковом методе измерения, на его выходной сигнал существенное влияние оказывают температура, давление, влажность, углекислый газ и другие газовые примеси. Наличие высокой концентрации пыли практически не влияет на скорость распространения звуковой волны. Поэтому при работе в сильно запыленной среде в этом случае необходимо только осуществлять периодическую очистку источников и приемников излучения от загрязнения.

Температура, атмосферное давление и влажность в месте установки газоанализаторов являются весьма медленно изменяющимися параметрами. Поэтому возможная величина скорости изменения выходного сигнала малоинерционного ультразвукового датчика, вызванная изменением указанных параметров, существенно меньше, чем у оптического адсорбционного датчика. В этом случае скорость коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика целесообразно принять исходя из условия обеспечения быстродействия анализаторов метана.

Отличительной особенностью малоинерционного ультразвукового датчика является то, что при попадании в открытый измерительный объем по-

сторонних предметов, например разлетающихся при внезапном выбросе кусков угля и породы, информационный сигнал изменяется в сторону снижения концентрации метана. В то же время в аналогичной ситуации в оптическом датчике информационный сигнал изменяется в сторону увеличения концентрации метана. При таком характере изменения выходного сигнала в случае попадания кусков угля и породы в измерительный объем ультразвукового датчика возможны случаи несрабатывания защиты. Ввиду этого при установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса, предпочтение должно отдаваться оптическим абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Выводы

Увеличить быстродействие аппаратуры газового контроля можно путем уменьшения постоянной времени термokatалитических датчиков метана и путем использования таких информационных признаков, как скорость нарастания метана и изменение его концентрации по длине горной выработки.

Уменьшить постоянную времени датчиков метана можно при выполнении их двухкамерными и использовании различных тепловых режимов чувствительных элементов. Такое выполнение датчиков позволяет существенно уменьшить объем реакционной камеры (вследствие размещения в реакционной камере только одного элемента и отсутствия теплоизолирующего экрана) и увеличить эффективную диффузионную проводимость каталитически активного термоэлемента (за счет выбора более высокой температуры его предварительного нагрева).

Использование скорости нарастания и изменения концентрации метана по длине горной выработки в качестве информационных признаков возможно при условии применения для получения информационных сигналов и передачи данных по линиям связи современной микропроцессорной техники.

Повысить быстродействие и надежность аппаратуры газового контроля возможно при одновременном использовании в анализаторах метана двух датчиков, причем основным должен быть высокостабильный, но относительно инерционный термokatалитический датчик, а вспомогательным — малоинерционный оптический или ультразвуковой. При этом выходной сигнал основного датчика используется для формирования сигнала телеизмерения, сигнала на отключение электроэнергии и корректировки выходного сигнала малоинерционного датчика, а вспомогательный датчик обеспечивает выдачу сигнала на отключение электроэнергии при достижении

недопустимой концентрации метана и при недопустимой скорости изменения концентрации метана. Учитывая возможную скорость изменения выходного сигнала малоинерционного датчика, вызванную влиянием неконтролируемых параметров, скорость коррекции его выходного сигнала целесообразно принять равной 0,1%/с.

При попадании в открытый измерительный объем ультразвукового датчика посторонних предметов, например разлетающихся при внезапном выбросе кусков угля и породы, их информационный сигнал изменяется в сторону снижения концентрации метана, в адсорбционном оптическом датчике — в сторону увеличения концентрации метана. Учитывая это, при установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса, предпочтение должно отдаваться оптическим абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Литература

1. Брюханов А. М. Закономерности формирования взрывоопасной среды при внезапных выбросах породы, угля и газа в тупиковых выработках шахт // Пожарная безопасность: Сб. науч. тр. / ЛГУБЖД. Львов, 2007. № 10. С. 121—125.
2. Карпов Е. Ф., Биренберг И. Э., Басовский Б. И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. М.: Недра, 1984. 285 с.
3. Голинько В. И., Котляров А. К., Белоножко В. В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт. Днепропетровск: Наука и образование, 2004. 207 с.
4. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: ГОСТ-24032—80. М.: Госстандарт, 1980. 34 с.
5. Айруни А. Т., Гусев М. Г., Медведев В. Н. Аппаратура для регистрации быстропротекающих процессов изменения концентрации метана // Безопасность труда в промышленности. 1984. № 7. С. 35—37.
6. Котляров А. К. Исследование переходных процессов при ограничении подачи метановой воздушной смеси в реакционную камеру датчика // Науковий вісник НГУ. 2004. № 12. С. 47—51.
7. Голинько В. И., Белоножко В. В. Исследование процесса окисления метана в термокаталитических датчиках // Науковий вісник НГУ. 2003. № 7. С. 62—65.
8. Голинько В. И., Белоножко А. В. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов // Науковий вісник НГУ. 2008. № 7. С. 60—65.
9. Бреслер П. И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение. Л.: Энергия, 1980. 342 с.
10. Шифрин К. С. Коэффициент рассеяния света на больших частицах // Известия АН СССР. Серия геофизическая и географическая. 14. № 1. 1950. С. 64—69.

УДК 622.867

С. А. АЛЕКСЕЕНКО,
канд. техн. наук, доц.
И. А. ШАЙХЛИСЛАМОВА,
канд. техн. наук, доц.
(Национальный горный университет,
г. Днепропетровск, Украина)

КВАНТОВО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ШАХТАХ

Аннотация. На основе квантово-информационного подхода разработан способ выявления сигналов о возможной аварийной ситуации в шахте. Приведена технология дистанционного тестирования состояния системы «горный массив — выработки» на предмет прогнозирования аварийных ситуаций в шахтах. Установлена длительность угрожаемого периода (11—12 ч) с момента появления сигнала о возможной аварии. Приведены формулы и график, иллюстрирующие суть предложенного способа.

Ключевые слова: аварийная ситуация в шахте, горный массив, информация, скрытые признаки, энергоинформационная полярность.

Summary. On the basis of quantum-information approach, a method to identify the signals of a possible emergency in the mine. The technology of remote testing system state mountain — making for predicting accidents in mines. A slow period of threat (11—12 hours), with the appearance of a signal of a possible accident. The formulas and graphs illustrating the essence of the proposed method.

Keywords: emergency situation in the mine, mountain, information, hidden signs, energoinformational polarity.

Горные работы в шахтах объективно проводятся в опасной среде: высокое давление горного массива, газа и воды. Таких горно-геологических условий, как на Украине, нет нигде в мире. Из общего количества действующих шахт 90% — опасны по газу и 30% — проводят выемку угля на глубине 1000 м и более.

Угольная промышленность отличается особотяжелыми и опасными условиями труда, высоким уровнем травматизма, а также ведется статистика о гибели шахтеров. Есть даже такой показатель в статистике: число погибших на каждый миллион тонн добытого угля. Согласно статистическим данным Министерства угольной промышленности, Государственного ко-

митета по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору [1] на угольных шахтах за период с 2000 по 2012 г. произошло 1611 аварий и аварийных ситуаций. Из них 765 аварий и 846 аварийных ситуаций (рис. 1). Число аварий и аварийных ситуаций в горном производстве велико, в среднем на один год приходится 134 аварии и аварийные ситуации.



Рис. 1. Динамика аварий и аварийных ситуаций на угольных шахтах Украины

Производственный травматизм неразрывно связан с шахтной аварийностью. За последние 10 лет на угольных шахтах Украины погибли 1569 и получили травмы 64 139 горняков.

Шахтеры, по сути дела, представляют специфическую группу риска, которая испытывает на себе двойную нагрузку неблагоприятных факторов. В связи с этим горнорабочие угольных шахт подвергаются повышенному риску нарушения здоровья.

Причинами осложнений аварий на угольных шахтах Украины до настоящего времени остаются несвоевременное обнаружение признаков аварийных ситуаций и поздние вызовы подразделений ГВГСС, неправильные действия ответственных руководителей работ по ликвидации аварий в начальный период ликвидации аварий, наличие опасности взрывов метано-воздушной смеси, отсутствие возможности непосредственного воздействия на очаги пожаров и др.

В связи с этим существует острая необходимость как долгосрочного, так и оперативного прогнозирования аварийных ситуаций в шахтах. Эта необходимость подтверждается недопустимо высоким уровнем аварийности шахт Донбасса и травматизма горнорабочих со смертельным исходом.

Для того чтобы не вести речь о закрытии шахт, на которых гибнут люди, необходимо изыскивать нетрадиционные решения, направленные на безопасность труда шахтеров и благополучие общества.

Системный квантово-информационный подход, применяемый для выявления на микроуровне признаков возможных аварийных ситуаций в шахтах, является новым нетрадиционным решением при исследовании аварийности. На его основе сотрудниками кафедры аэрологии и охраны труда НГУ

совместно с ДонНТУ разработаны основы квантово-информационного способа и технологии дистанционного тестирования состояния системы «горный массив — выработки» и прогнозирования аварийных ситуаций в шахтах [2, 3].

Суть предложенного способа заключается в следующем. Горный массив воспринимает два глобальных энергетических потока: из глубин планеты и из Космоса. Эти потоки и материя горного массива определяют его энергоинформационную полярность, которую в биолокации условно обозначают определенными знаками. При устойчивом, безаварийном состоянии горного массива он имеет нормальную (естественную) полярность. Если состояние горного массива нарушено, то может произойти его переполюсовка — он приобретает обратную полярность [4,5]. Нарушение состояния горного массива может произойти под влиянием горных работ, а также в результате изменения потоков энергии из глубин планеты и из Космоса. В этих условиях весь массив или отдельные его зоны находятся в несбалансированном состоянии, что может привести к аварийным ситуациям.

Горные выработки как искусственные пустоты, образованные и специально оборудованные в горном массиве, подвергаются воздействию энергетических потоков не только из горного массива, но также из глубин планеты и Космоса, поэтому выработки тоже имеют свою энергоинформационную полярность. При безаварийном состоянии выработок биолокация показывает их нормальную полярность. При нарушении состояния выработки может произойти ее переполюсовка — выработка приобретает обратную полярность. В выработках с нарушенной полярностью ухудшается состояние здоровья горнорабочих, нарушается их психика, снижается производительность труда, повышается количество ошибок в производственных операциях, происходят немотивированные поступки, повышается травматизм, возникают аварийные ситуации.

Горные машины, транспортные средства, различные механизмы, электрооборудование и другие объекты при безаварийном состоянии имеют нормальную полярность. Изменение энергоинформационного состояния технического объекта может привести к его переполюсовке и авариям.

Изменение полярности любых систем на обратную обычно происходит до возникновения аварийной ситуации или аварии. Это обстоятельство можно использовать для выполнения профилактических мероприятий.

Способ осуществляется путем дистанционного определения и контроля интегральных параметров полярности и направления вращения локального торсионного поля системы «горный массив — выработки». Для анализа состояния безопасности отдельных выработок, участков или шахты в целом используют их модели, план горных работ, схему вентиляции шахты, технологические схемы и другие источники, характеризующие горный массив и горные выработки.

Известно, что реальные объекты и их модели (в том числе фантомы) посредством торсионных полей информационно связаны между собой: реальный объект и его модель (фантом) генерируют подобные торсионные излу-

чения и поля. При изменении состояния объекта его полярность может быть нарушена, а локальное торсионное поле может изменить направление вращения. Аналогичные изменения этих показателей можно обнаружить методом биолокации и на модели реального объекта или на его фантоме.

Выявлено, что сочетание нормального распределения знаков полярности с правосторонним торсионным полем свидетельствует о безаварийном состоянии объекта. А обратная полярность в сочетании с левосторонним торсионным полем означает, что аварийная ситуация возникла. Между нормальным и аварийным состоянием объекта существует переходное состояние, когда полярность объекта изменена на обратную при сохранении правостороннего торсионного поля.

Предполагаемый момент возникновения аварийной ситуации во времени, τ_a , определяют согласно выражению

$$\tau_a = \tau_c + \Delta\tau_c \pm \Delta\tau_\theta, \quad (1)$$

где τ_c — момент текущего времени, когда появился сигнал о возможной аварийной ситуации;

$\Delta\tau_c$ — длительность угрожаемого состояния объекта (определяется экспериментально; по нашим исследованиям на шахтах Донбасса, $\Delta\tau_c = 11-12$ час [2]);

$\Delta\tau_\theta$ — среднестатистическое отклонение от значения $\Delta\tau_c$ (зависит от вероятностных факторов).

Момент появления сигнала о возможной аварийной ситуации определяют из выражения

$$\tau_c = \tau_m - \Delta\tau_p, \quad (2)$$

где τ_m — момент текущего времени, когда был обнаружен сигнал о возникновении аварийной ситуации;

$\Delta\tau_p$ — опоздание во времени приема оператором сигнала об аварийной ситуации.

Соотношение величин, входящих в формулы (1) и (2), иллюстрирует рис. 2.

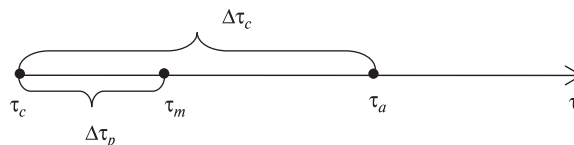


Рис. 2. Графическое изображение текущих моментов времени согласно формулам (1) и (2)

Из рисунка 2 видно, что точка τ_m может занимать следующие положения:

- находится левее точки τ_c (это означает, что сигнал о возможной аварии отсутствует);
- совпадает с точкой τ_c (момент появления сигнала о возможной аварии);

- находится между точками τ_c и τ_a (сигнал о возможной аварии получен с опозданием $\Delta\tau_p$, но авария еще не произошла);
- совпадает с точкой τ_a или находится правее нее (авария произошла в момент τ_a).

С учетом зависимостей (1) и (2) следует на практике проводить тестирование шахты так, чтобы величина $\Delta\tau_p$ была минимальной, а запас времени для принятия дополнительных защитных мер и вывода людей в безопасную зону приближался к величине $\Delta\tau_c$.

Контроль за состоянием горного массива и горных выработок по данному способу осуществляется путем периодического тестирования их методом биолокации. Периодичность тестирования определяют с таким расчетом, чтобы оставалось время для выполнения превентивных мер против возможной аварийной ситуации или аварии. Сначала тестируют систему в целом, например шахту как систему «горный массив — выработки». Затем тестируют отдельные участки и выработки. Анализ аварий, произошедших на шахтах Донбасса, показал, что сигнал о возможной аварийной ситуации появляется не только в аварийной выработке или на участке, но и по шахте в целом, т.е. система посредством торсионных полей и излучений отзывается на изменения в ее подсистемах и элементах.

Преимуществом квантово-информационного способа прогнозирования аварийных ситуаций в подземных выработках является возможность дистанционного и оперативного получения информации о возможной аварийной ситуации до ее возникновения. Способ позволяет заблаговременно определить место и время аварийной ситуации и аварии, в том числе: внезапные выбросы угля, породы и газа; вспышки и взрывы газа; пожары; обрушения породы; аварии на горнодобывающем, горнотранспортном и электротехническом оборудовании; прорывы воды в выработки; травмирование горнорабочих; тепловые удары и др.

Таким образом, данный способ прогнозирования аварийных ситуаций обеспечивает повышение безопасности горных работ, снижение травматизма горнорабочих и материальных потерь при авариях.

Предложенный способ будет наиболее эффективен на угольных шахтах, опасных по газу, пыли и внезапным выбросам угля, породы и газа. Кроме того, этот способ может быть использован при тестировании состояния выработок рудников и метрополитенов, транспортных туннелей, подземных складов, специальных подземных сооружений военного назначения, а также нефтегазовых скважин.

Литература

1. Анализ аварий и горноспасательных работ на предприятиях, обслуживаемых ГВГСС в угольной промышленности Украины за 2011 год. Донецк: ГВГССС, 2012. 162 с.

2. *Алексеевко С. А.* Способ прогнозирования аварийных ситуаций в шахтах и рудниках / С. А. Алексеевко, В. И. Муравейник, Ю. Ф. Булгаков // Форум гірників. 2009: Матеріали міжнародної конференції «Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання». — Д.: Національний гірничий університет, 2009. С. 216–223.

3. Способ прогнозирования аварийных ситуаций в подземных горных выработках: пат. на кор. мод. 45451 Україна: МПК E21F 5/00, E21C 39/00 / В. И. Муравейник, С. О. Алексеевко, Ю. Ф. Булгаков, В. И. Король, І. А. Шайхлісламова; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. №u200905789; заявл. 05.06.2009; опубл. 10.11.2009. Бюл. № 21.

4. *Шипов Г. И.* Теория физического вакуума: Теория, эксперименты и технологии / Г. И. Шипов. 2-е изд. М.: Наука, 1996. 450 с.

5. *Гуляев Э. А.* Влияние обратных полярностей в нашей жизни / Э. А. Гуляев, Ф. И. Гуляева. Одесса: Optimum, 2008. 7 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЫХОДА ВРЕДНЫХ ГАЗОВ ИЗ ПОР ОТБИТОЙ РУДЫ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ

Аннотация. В статье определяется актуальность исследования особенностей процесса попадания вредного газа, выделяющегося при проведении массового взрыва, в отбитую горную массу и процесса его выноса. Предложена модель прогнозирования выхода вредного газа из взорванной горной массы по времени с момента начала фильтрации.

Ключевые слова: газовыделение, вредный газ, массовый взрыв, взрывчатое вещество, взорванный блок, вынос вредного газа, структура отбитой горной массы, сорбирование газа, прогноз выхода вредного газа.

Summary. In this article the relevance of studies of the process of getting the harmful gas emitted during explosion in beaten off the rock mass, and process of its removal is presented. Accumulation of harmful gas in pores occurs in the fall a broken rock mass after the explosion, and is characterized by the properties of the surface and the structure of a broken rock. The total quantity of the toxic gas in a broken rock mass consists of adsorbed and free of its parts. The model of forecasting the output of harmful gas blasted rock mass over time from the start of the filtration is proposed.

Keywords: gas evolution, noxious gas, massive explosion, explosive, exploded block, removal of harmful gas, the structure of a broken rock, gas sorption, forecast output of harmful gas.

Одним из основных источников выделения в атмосферу карьеров пыли и вредных газов являются массовые взрывы. Количество одновременно взрываемых взрывчатых веществ в рудных карьерах колеблется от 200 до 1100 т и более. Серьезную опасность при этом представляют вредные газы (около 30% от общего объема образующихся), которые, выделяясь из горной массы, загрязняют атмосферу участков взорванных блоков. Так, содержание оксида углерода во взорванной руде достигает 4–5%, а оксидов азота — 0,02–0,03% (до 0,05%). Продолжительность газовыделения достигает в отдельных случаях 10–15 ч и более. Это способствует длительному простоя горного оборудования из-за загазованности.

В работах [1, 11] установлено, что концентрация оксида углерода в горной массе, превышающая ПДК, наблюдается в течение 100 ч и более. Усиленные газовыделения отмечается при выемочно-погрузочных операциях, при

этом газы выделяются как из развала горной массы, так и из породы, находящейся в ковше экскаватора, кузове автосамосвала [1, 8].

Качественные и количественные характеристики газодинамических процессов выделения вредных газов из взорванной горной массы в значительной степени зависят от размеров ее частиц, что объясняется зависимостью параметра интенсивности перехода вредных газов в свободное состояние от сопротивления пути его фильтрации по порам. Поэтому процесс выделения вредных газов из взорванной горной массы необходимо описывать, основываясь не только на коэффициенте диффузии [4, 7, 9], но и на интенсивности десорбции и коэффициенте массоотдачи. В связи с этим при математической формулировке задачи эти факторы необходимо учитывать.

Отбитая горная масса обладает значительной разрыхленностью за счет свободных объемов между кусками породы [8, 13]. В момент отброса отбитой горной массы одновременно выбрасываются и газообразные продукты взрыва, которые при этом поглощаются горной массой и впоследствии могут достаточно длительное время находиться в ее объеме. Отбитая горная масса является не только аккумулирующим объемом, но и сорбентом для газообразных продуктов взрыва. Емкость этого сорбента зависит от свойств поглощаемого компонента, химического и физического состояния поверхности сорбента, его пористой структуры, температурных условий и парциального давления газа. Таким образом, можно утверждать, что в отбитой горной массе токсичные газы находятся как в свободном, так и в сорбированном состоянии. Активными адсорбентами являются отбитая горная масса и особенно мелкие ее фракции и пыль [13].

Часть токсичных газов в момент взрыва выбрасывается из горной массы в атмосферу карьера и сравнительно быстро разжижается и уносится воздушным потоком; другая часть этих газов остается в отбитой руде.

В трещинах и микропорах отбитой горной массы токсичные газы удерживаются длительное время. Наиболее интенсивное высвобождение токсичных газов из трещин и микропор частиц железной руды отмечено в первые 2–3 ч, в дальнейшем оно уменьшается и продолжается до 15 сут. и более [10]. Полный период десорбции СО и оксидов азота из взорванной породы равен соответственно 34–36 и 32–33 сут.

Падение горной массы после взрыва сопровождается ее расслоением на фракции из частиц различных размеров. Более крупные фракции падают раньше, а наиболее мелкие (пылевые фракции размером от 10 до 60 мкм) оседают позже. Поэтому частички пыли находятся в верхнем слое упавшей горной массы и образуют плотный слой, изолирующий свободное и поровое пространство горной массы от атмосферы карьера. При определенных условиях (ветер, взрывная волна, погрузка горной массы в автосамосвалы) пыль, покрывающая взорванную горную массу, взматывается в атмосферу карьера и из взорванной горной массы под воздействием ветрового давления выносятся вредные газы.

Общее количество токсичного газа, находящегося в отбитой горной массе, складывается из сорбированной и свободной его составляющих. Количество свободного газа зависит от структуры и фракционного состава горной массы. Количество сорбированного газа зависит от физико-механических и химических свойств сорбента (руды, породы) и сорбтива (сорбируемого газа).

В последующем как под воздействием ветра, так и за счет молекулярной диффузии происходит процесс вымывания газов потоком атмосферного воздуха. Процесс вымывания свободного газа происходит довольно быстро в отличие от сорбированной составляющей, связанной с различными силами межмолекулярного и химического взаимодействия.

Таким образом, аэрогазодинамические процессы, которые происходят в обрушенной горной массе, можно разделить на несколько этапов:

- распределение токсичных газов в свободном и поровом пространстве обрушенной руды в период взрывания;
- вымывание токсичных газов из свободного пространства обрушенной горной массы потоками атмосферного воздуха;
- десорбция и вынос токсичных газов, поглощенных в результате физической адсорбции поверхностью отбитой горной массы.

Первые два процесса происходят в относительно короткое время, когда люди на рабочих местах отсутствуют и основной объем токсичных газов удаляется из карьера за счет ветровой активности. Последнее явление имеет место при экскавации и транспортировке горной массы и оказывает существенное влияние на состояние рудничной атмосферы на рабочих местах вблизи взорванной горной массы (в частности, рабочие места экскаваторщиков, водителей автосамосвалов при погрузке).

Явление адсорбции происходит на поверхности кусков руды, атомы и молекулы которой связаны между собой электростатическими или кулоновскими силами, обменными силами или силами гомеоплярной валентности, силами Ван-дер-Ваальса и др. Таким образом, адсорбированные частицы вредного газа связываются с поверхностью руды, неподвижно или же свободно перемещаясь вдоль поверхности в двух измерениях.

В отличие от физической адсорбции при хемосорбции не сохраняется индивидуальность адсорбтива и адсорбента [3]. При сближении молекул адсорбтива с поверхностью происходит перераспределение электронов взаимодействующих компонентов с образованием химической связи. Если физическую адсорбцию можно сравнить с конденсацией, то хемосорбционный процесс рассматривается как химическая реакция, протекающая на поверхности раздела фаз.

Исследования, посвященные процессу хемосорбции [4, 6, 12, 13], свидетельствуют о том, что часть оксида углерода уходит на восстановительные процессы. На железорудных предприятиях этот процесс связан с восстановлением железа (по аналогии с доменным процессом) [4], что объясняется наличием в бедных рудах оксидов и гидрооксидов железа, в основе

которых находится примесь Fe_2O_3 , восстанавливаемая вследствие высокой пористости.

Оксид углерода, поглощенный железной рудой за счет явления хемосорбции, не десорбируется и не оказывает существенного влияния на состояние окружающей среды [2] и поэтому в дальнейшем в данной работе не рассматривается.

Основным параметром, характеризующим накопление вредных газов, является структура отбитой горной массы. Для исследования структуры были использованы следующие методы:

- метод визуальных наблюдений, который заключается в визуальном изучении стратиграфии взорванной массы при ее экскавации, а также динамики сдвижения при этом отдельных ее объемов;
- метод маркшейдерских замеров и расчетов объема кусковатой массы по фракциям. При этом измеряются также объемы ее свободного пространства.

Работы выполнялись в Глееватском карьере ОАО «Центральный горно-обогатительный комбинат» (ЦГОК), а также в карьерах Полтавского горно-обогатительного комбината (ПГОК).

При этом исследовалась структура взорванной горной массы в зависимости от параметров буровзрывных работ (БВР) и характеристик горного массива (трещиноватость, крепость). Например, при этом установлена закономерность снижения газоемкости взорванной массы с увеличением удельного расхода ВВ и степени дробления породы.

В результате этих исследований, кроме того, установлено:

- гранулометрический состав взорванной массы и объем пустот в ней;
- наличие двух зон (условно), различающихся как по структуре, так и по газонакопительным свойствам.

Внутренняя (основная) зона — крупнокусковатая (рис. 1), состоит из кусков (иногда глыб) взорванной породы средними размерами 150–500 мм (для пород Криворожского железорудного бассейна).

Наружная зона (поверхностный слой) состоит из более мелких фракций, отличается менее активной фильтрационной способностью и выполняет роль газонепроницаемой преграды. От фильтрационных свойств этого слоя зависит незначительное непрерывное газовыделение из взорванного массива. По проведенным исследованиям, такое газовыделение не создает опасных концентраций газов взрывных работ в воздухе рабочих площадок карьеров. Такая структура формируется в основном под влиянием гравитационных сил, а именно: высота «поднятия» энергией взрыва крупных кусков незначительная, скорость их падения более высокая по отношению к мелким фракциям. Более мелкие куски и пыль поднимаются на большую высоту, дольше задерживаются в воздухе и поэтому, оседая, покрывают плотным слоем поверхность ранее осевших более крупных кусков. Четкая граница между основной зоной и поверхностным слоем не прослеживается. Конкретные размеры этих зон можно считать только

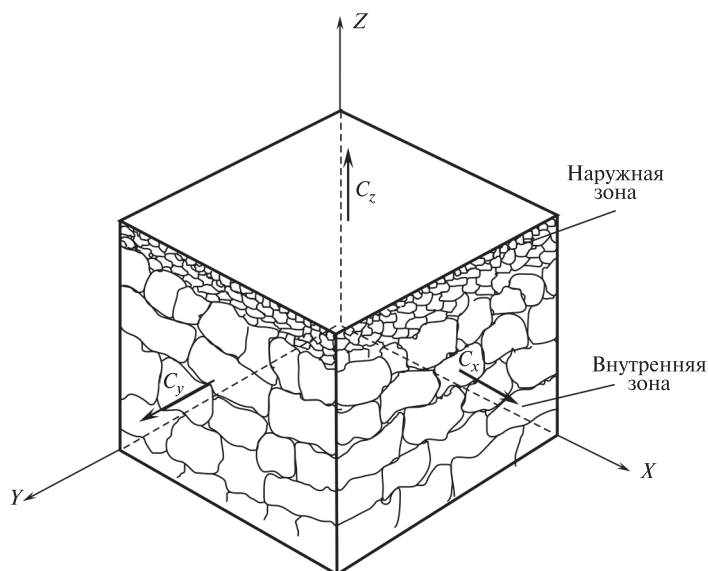


Рис. 1. Структура взорванной горной массы:
 C_x , C_y , C_z — пространственное газовыделение

условно, а именно: толщина поверхностного слоя составляет $1/20-1/25$ по отношению к размерам основной зоны. Другие усредненные количественные характеристики взорванной массы составляют для пород Кривбасса:

- коэффициент разрыхления — 1,05–1,3;
- объем пустот по отношению ко всему объему взорванной массы — 5–35%.

Как указывалось ранее, основными газами, представляющими опасность для персонала карьера при взрывных работах, являются окись углерода (CO) и оксиды азота (NO и NO₂). По истечении времени оксиды азота, находящиеся во взорванной горной породе, при контакте с влагой превращаются в азотистую кислоту, которая не представляет практической угрозы для горнорабочих и водителей автосамосвалов, поэтому в дальнейшем при рассмотрении вопросов газодинамики карьерной атмосферы будет учитываться ее загазованность только по CO.

При физической адсорбции силы, удерживающие молекулы газа, невелики. Поэтому за счет фильтрации через отбитую руду потока воздуха происходит разрушение пограничного диффузионного слоя на поверхности частиц руды, слагающих обрушенное пространство со срывом молекул оксида углерода и образованием потоков газозвудушных смесей, что впоследствии приводит к их перемешиванию и выносу газа.

Рассмотрим часть пространства (рис. 2), заполненную между сечениями I и II кусками взорванной горной массы, которые представляют собой пористую среду.

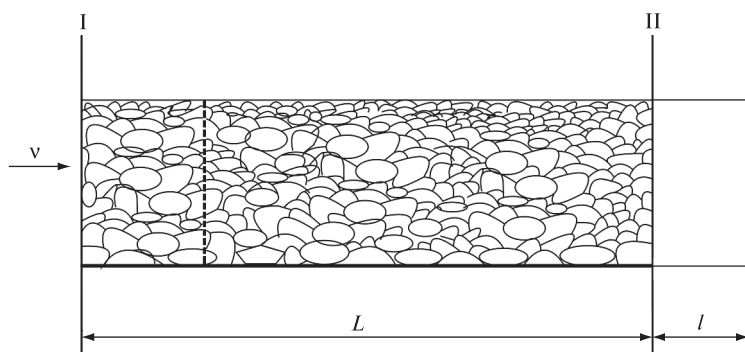


Рис. 2. Упрощенная схема процесса выноса газа из пористой среды

Предположим, что до начала процесса фильтрации в полостях между кусками породы находится только исследуемый газ, например CO , оказавшийся там в результате взрывных работ, а за пределами указанных сечений — чистый воздух. Определим изменение содержания газа непосредственно за сечением II при скорости фильтрационного потока v . Вначале получим качественное решение задачи без учета адсорбции газа. Для этого представим движущийся воздушный фильтрационный поток как идеальную несжимаемую жидкость, которая, как поршень (на рис. 2 показан пунктиром), двигаясь со скоростью v , вытесняет газ из пористого пространства. Вполне очевидно, что за время $t = L/v$ весь газ выйдет за сечение II, образуя за ним газовую пробку, которая начнет перемещаться с потоком идеальной жидкости. При отсутствии перемешивания газа и жидкости толщина газовой пробки l должна быть пропорциональна объему газа, вытесненному из пористого пространства. Относительную величину этого объема можно выразить как $k = l/L$, т.е. определить величиной, характеризующей относительный объем пор или пористость среды. Следовательно, зная априори пористость среды, можно оценить l .

Следует отметить, что рассмотренный процесс является не таким уж идеализированным. Он использовался на практике при транспортировании газовых проб по тонким трубкам на сотни метров, в которых несущим потоком являлся чистый воздух, движущийся в ламинарном режиме [5].

В случае смешивания газа с идеальной жидкостью, что имеет место в турбулентных потоках, должна образоваться движущаяся газовая пробка толщиной L , но с пониженной относительной концентрацией газа в ней, которую можно оценить величиной $C = l/L$. Иными словами, ожидаемая на выходе концентрация газа должна быть в $1/k$ раз меньше, чем его концентрация в пористой среде.

Таким образом, предложенная модель позволяет спрогнозировать выход вредного газа из взорванной горной массы в течение времени $t = L/v$ начиная с момента начала фильтрации, причем концентрация газа в филь-

традиционном потоке изменяется во времени скачкообразно в виде прямоугольного импульса.

Литература

1. *Бересневич П. В., Ткаченко А. В.* Микроклимат железорудных карьеров и нормализация их атмосферы. Л., 1987.
2. *Евстратенко И. А.* Повышение эффективности управления вентиляционными режимами железорудных шахт Украины: дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск: НГУ, 2005. 212 с.
3. *Кельцев Н. В.* Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. 592 с.
4. *Луговский С. И.* Проветривание глубоких рудников. М.: Госгортехиздат, 1962. 323 с.
5. *Колесник В. Е., Евстратенко И. А., Лебедев Я. Я.* Моделирование процесса выноса ядовитых примесей после производства массовых взрывов на шахтах Кривбасса // Научный вестник НГУ. Днепропетровск: РВК НГУ. 2004. № 1. С. 79–81.
6. *Ярембаш И. Ф., Бахтин В. В.* Очистка атмосферы подземных выработок после взрывных работ // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. 1971. № 10. С. 20–21
7. *Недин В. В., Гагауз Ф. Г.* О механизме образования ядовитых газов при ведении взрывных работ в подземных выработках // Сб. науч. тр. ВНИИБТГ. М.: Недра, 1969. Вып. 2. С. 60–71.
8. *Бересневич П. В., Сащенко В. Г.* Прогноз состава атмосферы железорудных карьеров, способов и средств ее нормализации // Сб. науч. тр. НГУ. Днепропетровск, 2004. № 19. С. 92–99.
9. *Савенко С. К., Морозов Е. Г., Бережной В. И.* Аэрогазодинамика массовых взрывов в рудниках. М.: Недра, 1976. 184 с.
10. *Сахновский В. Л., Умнов А. Е., Куроченко В. М.* Интенсификация проветривания глубоких подземных рудников. М.: Недра, 1992. 143 с.
11. *Гурин А. А., Ратушный В. М., Малаховский М. И.* Снижение взметывания пыли с поверхности взрываемого блока уступа // Сб. науч. тр. НГУ. Днепропетровск, 2004. № 19. С. 128–131.
12. *Ярембаш И. Ф., Бахтин В. В., Данилевич С. М.* Снижение ядовитых газов при взрывных работах // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. 1971. № 9. С. 30–31.
13. *Ярембаш И. Ф.* Очистка рудничной атмосферы после взрывных работ. М.: Недра, 1979. 191 с.

УДК 622.822.22

Н. О. КАЛЕДИНА,
проф., докт. техн. наук, зав. каф.
аэрологии и охраны труда

Т. В. ЗАВИРКИНА,
аспирант, ассистент каф. аэрологии и охраны труда
(Московский государственный горный университет,
Россия)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ КАК ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Аннотация. Статья посвящена защите шахт от эндогенных пожаров. Проведен анализ методик прогнозирования эндогенной пожароопасности выемочных участков. Для решения задачи прогнозирования параметров процесса самонагревания и воспламенения угля в выработанном пространстве предлагается использовать объемное компьютерное моделирование фильтрации газоздушных потоков с учетом теплопереноса.

Ключевые слова: Пожароопасность, эндогенный, самовозгорание, объемное моделирование.

Summary. The article is devoted to mines endogenous fires protection. There is analysis of methods of endogenous fire forecasting for excavation sites in this paper. To solve this task the authors encourage to use 3D-computer modeling of gas-flow filtration with teplo-carries over the gob area for determination of coal self-heating and ignition process parameters.

Keywords: Fire hazard, the endogenous, spontaneous combustion, 3D-modeling.

Аварии последних лет наглядно свидетельствуют о том, что работы по совершенствованию защиты шахт от эндогенных пожаров и инициируемых ими взрывов не теряют своей значимости. Анализ статистических данных указывает на снижение количества ежегодно возникающих аварий (рис. 1) при возрастающей тяжести аварий и сложности ведения горноспасательных работ. Почти каждый второй эндогенный пожар осложняется или пламенным горением, или взрывоопасной ситуацией [1]. Особенно актуальна эта проблема для Кузбасса, на долю которого приходится ежегодно 67% эндогенных пожаров и 82% взрывов из общего числа подобных происшествий, регистрируемых в шахтах России.

Предпринимаемые меры по предупреждению самовозгорания угля не обеспечивают существенного снижения риска возникновения эндогенных

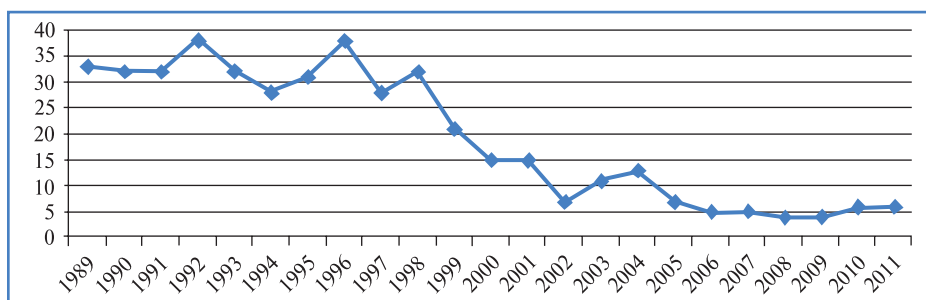


Рис. 1. Эндогенные пожары за 1989–2011 гг. (включая рецидивы)

пожаров на добычных участках, по-видимому, вследствие того, что высокие скорости подвигания очистных забоев существенно изменили проницаемость выработанного пространства и соответственно его аэродинамические свойства. Поэтому полученные ранее рекомендации по пожаробезопасным режимам проветривания не соответствуют реальным условиям современных вентиляционных сетей высокопроизводительных выемочных участков. В связи с этим разработка новых способов оценки и прогноза эндогенной пожароопасности выемочных участков угольных шахт при нагрузках на очистные забои более 5–6 тыс. т/сут. является актуальной и своевременной.

В общей проблеме обеспечения эндогенной пожаробезопасности выемочных участков существенная роль принадлежит аэродинамическому методу. Сущность этого метода заключается в том, чтобы в зоны с источниками самовозгорания поступление воздуха было либо полностью прекращено, либо осуществлялось в таких режимах, при которых самовозгорание невозможно. Так как наиболее опасными по самовозгоранию зонами являются, как правило, выработанные пространства, вопрос в основном сводится к обеспечению режимов движения воздуха в выработанных пространствах на основе количественной оценки степени их пожароопасности.

Особенность предупреждения эндогенных пожаров на шахтах, разрабатывающих высокогазоносные пласты угля, состоит в том, что мероприятия по предотвращению самовозгорания вступают в противоречие с мерами обеспечения метанобезопасности. Так, исследования, проведенные на газоносных, склонных к самовозгоранию мощных пластах Карагандинского бассейна [2], показали, что применение всех способов управления газовыделением из выработанного пространства ведет к усилению проветривания последнего и, следовательно, к повышению эндогенной пожароопасности.

При оценке пожароопасности выработанных пространств необходимо исходить из того, что риск возникновения и развития пожара определяется наличием в обрушенном массиве локальных зон фильтрации воздуха в

опасных режимах, вызывающих самовозгорание угля. Размеры таких зон и время их существования определяют вероятность возникновения пожара в выработанном пространстве. При ведении горных работ динамика распределения пожароопасных зон определяется совокупностью горнотехнических (системой разработки и схемой вентиляции) и аэродинамических факторов: расходом воздуха на выемочном участке, а также аэродинамическими сопротивлениями выработанного пространства и структурой скоростного поля фильтрационного потока, связанными со скоростью продвижения очистного забоя.

Решение пространственных задач аэродинамики зон обрушения с использованием современных компьютерных технологий дает возможность нового подхода к оценке пожароопасности выработанных пространств, который позволит определять относительную пожароопасность в широком диапазоне указанных выше факторов и оценивать количественно эффект мероприятий по снижению пожароопасности. Сущность этого подхода состоит в определении величины пожароопасных зон, т.е. в выделении в пространственном фильтрационном потоке областей, ограниченных верхним и нижним пределами пожароопасных скоростей фильтрации, и в изучении их динамики.

Диапазон пожароопасных значений скорости фильтрации воздуха в дробленом угле определяется величинами [3]: $V_{\min} = 0,28 \cdot 10^{-2}$ м/с, $V_{\max} = 1,1 \cdot 10^{-2}$ м/с. При скорости фильтрации $V < V_{\min}$ процесс окисления угля происходит недостаточно интенсивно и не переходит в стадию самовозгорания. При $V > V_{\max}$ процесс окисления осуществляется интенсивно, однако и процесс диффузии тепла в пористой среде происходит в свою очередь настолько интенсивно, что температура струи не обеспечивает поддержания и развития процесса горения. Для установления границ пожароопасных зон необходимо изучение динамики областей, ограниченных указанными диапазонами скоростей в фильтрационном потоке. Примерные варианты расположения таких зон в зависимости от расхода воздуха на участке, полученные на основе физического моделирования для возвратноточной схемы проветривания [4], приведены на рис. 2.

В работе [4] предлагается вероятность возникновения пожара в выработанном пространстве P_n определять как совокупность вероятностей воздействия трех основных факторов: наличия угля, склонного к самовозгоранию, достаточного притока кислорода и соответствующего инкубационного периода:

$$P_n = P_y P_{an} P_t,$$

где P_y — вероятность наличия достаточного количества угля, склонного к самовозгоранию;

P_{an} — вероятность благоприятного аэродинамического режима, определяющего приток кислорода к углю и накопление тепла;

P_t — вероятность нахождения угля в пожароопасной зоне S_n в пределах инкубационного периода.

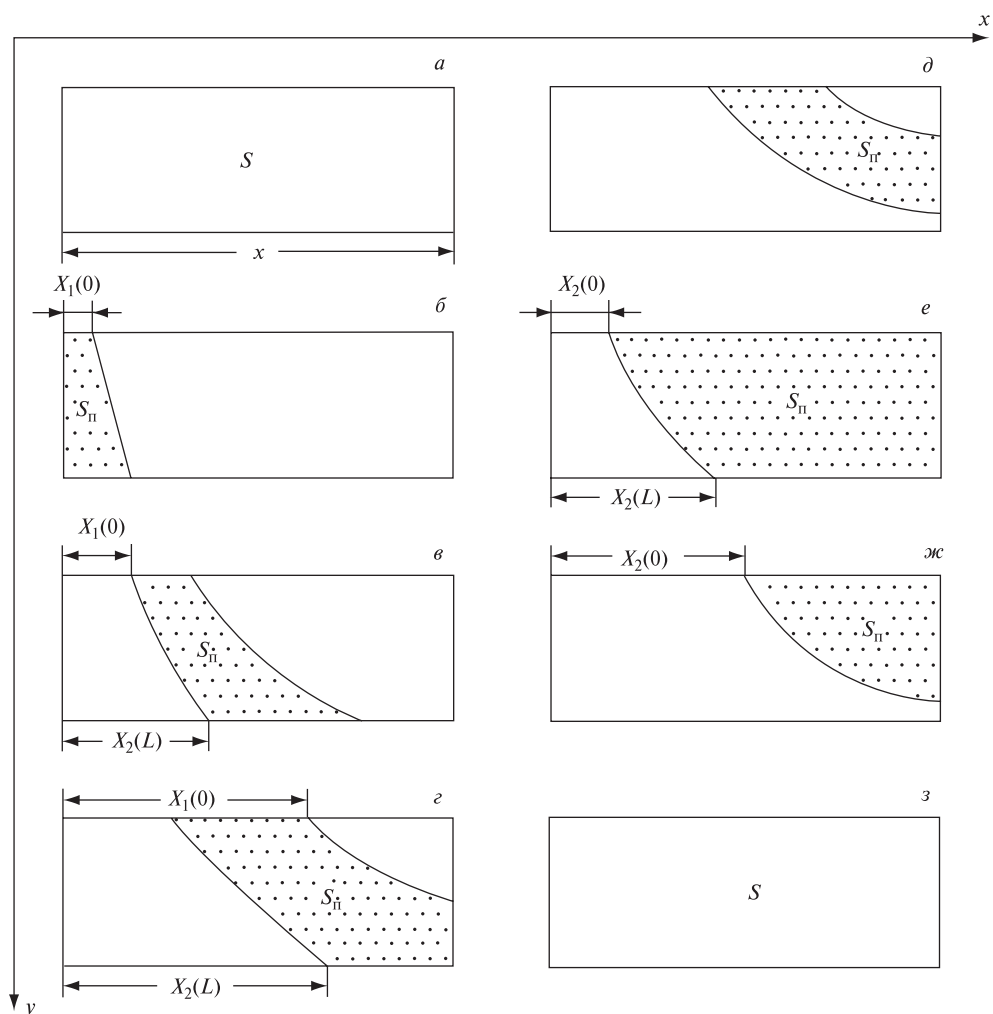


Рис. 2. Возможные варианты расположения пожароопасных зон в выработанном пространстве

Реальный риск пожара, очевидно, связан с величиной пожароопасной зоны, поэтому аэродинамическую составляющую вероятности возникновения пожара можно оценить как отношение ее объема к общему объему выработанного пространства:

$$P_{an} = W_n / W.$$

Исследования Л. А. Пучкова [4] позволили оценить общие закономерности аэрогазодинамики выемочного участка, но использование полученных результатов в шахтных условиях возможно, если известна реальная пространственная структура выработанного пространства, т.е. на основе

определения его характеристик в натуральных условиях. Кроме того, физическое моделирование дает только интегральные распределения аэродинамических параметров в объеме выработанного пространства, так как шаг измерений достаточно велик (в натурном масштабе соответствует 20–40 м), т.е. соизмерим с величиной вихревых структур в фильтрационном потоке утечек. Для выявления динамики пожароопасных зон с высокой точностью предлагается использовать 3D-моделирование на основе универсальной программной системы ANSYS. Разработанная методика [5] позволяет на основе использования виртуальных моделей подземных аэрогазодинамических систем выполнять прогноз и анализ термо-газодинамических процессов в горных выработках и в выработанном пространстве. Исследования, проведенные в МГГУ, показали высокую эффективность использования численных методов при решении сложных задач рудничной аэрогазодинамики.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Соглашение № 14.В37.21.0655).

Литература

1. Завиркина Т. В. Анализ причин эндогенных пожаров угольных шахт // Научный вестник МГГУ. 2012. № 7 (28).
2. Глузберг Е. И., Гращенков Н. Ф., Шалаев В. С. Комплексная профилактика газовой и пожарной опасности в угольных шахтах. М.: Недра, 1988. 184 с.
3. Маевская В. М., Линденау Н. И., Крылов В. Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. М.: Недра, 1977. 319 с.
4. Пучков Л. А. Аэродинамика подземных выработанных пространств. М., 1993.
5. Каледина Н. О., Кобылкин С. С. Системное проектирование вентиляции шахт на основе объемного моделирования аэрогазодинамических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ): Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка – 2012». М.: МГГУ, 2012. С. 282–294.

УДК 004.89:622.333

А. Г. БАБЕНКО,
канд. техн. наук, техн. директор
С. Э. ЛАПИН,
канд. техн. наук, ген. директор
(ООО «Информационные горные технологии»,
г. Екатеринбург, Россия)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Аннотация. В статье описаны цели, особенности и проблемы создания многофункциональных систем безопасности. Рассмотрены три уровня обеспечения комплексной безопасности угольных шахт и средства, их реализующие.

Ключевые слова: многофункциональные системы безопасности угольных шахт.

Summary. Maintenance of collieries complex safety probably with use of multipurpose systems of safety on the basis of the modern concept of safety. Three levels of safety and their means realizing are considered. The purposes, features and problems of creation of multipurpose systems of safety are described.

Keywords: multifunctional systems of collieries safety.

Обеспечение комплексной безопасности угольных шахт, в том числе с помощью многофункциональных систем безопасности (МСБ), исходные требования к которым сформулированы в [6], необходимо рассматривать как типовую задачу. Решить ее можно в рамках современной концепции безопасности, которая в систематизированном виде изложена в [3] и других стандартах этой группы.

С учетом [3] проведен анализ возможностей снижения уровня риска аварий по аэрологическому фактору с использованием существующих и перспективных систем аэрогазового контроля (АГК) и автоматической газовой защиты (АГЗ) [2], который показал, что для шахт, категорийных по газу, системы АГЗ (как электрические, электронные и программируемые системы противоаварийной защиты) не могут обеспечить требуемого снижения уровня рисков из-за принципиальной недостижимости необходимого уровня надежности основных узлов и кратности их резервирования, а также неудовлетворительных условий и качества эксплуатации и технического обслуживания. Однако системы АГЗ способны дополнять мероприятия, предотвращающие условия возникновения опасности аэрологическо-

го характера. Эти же утверждения справедливы для прочих систем противоаварийного управления и защиты, входящих в состав МСБ, направленных на парирование других видов природных опасностей.

Можно рассматривать следующие уровни (этапы) обеспечения комплексной безопасности:

1-й уровень: проект опасного объекта и его инженерных систем должен предотвращать условия возникновения различных опасностей, исключать или минимизировать уровень риска. Подсистемы МСБ должны обеспечивать оперативный контроль соблюдения проектных решений, направленных на предотвращение условий возникновения различных видов опасности аэрологического, геодинамического и техногенного характера, а также постоянную высокую степень готовности средств противоаварийной защиты;

2-й уровень: так как невозможно разработать и реализовать идеальный проект, в котором исключены все риски, и невозможно обеспечить идеальную эксплуатацию опасного объекта, подсистемы МСБ должны противодействовать условиям реализации опасностей за счет организации и координации технологических и производственных процессов и осуществления противоаварийного управления и защиты людей, оборудования и сооружений;

3-й уровень: так как невозможно обеспечить постоянное противодействие всем опасностям, подсистемы МСБ должны уменьшать ущерб от реализованной в виде аварии опасности за счет средств и систем, предотвращающих развитие и распространение аварии и снижающих степень влияния опасных факторов.

К средствам 1-го уровня относятся «внешние средства снижения риска» (в терминах [3]) — это региональный и локальный сейсмический и геофизический контроль и прогноз, аэрогазовый и противопожарный контроль [5], автоматизированные системы управления технологическими и производственными процессами (АСУТП и АСУПП), технологическая связь и позиционирование. К средствам 2-го уровня относятся «системы, связанные с безопасностью» [3], которые обеспечивают локальный и текущий геодинамический контроль и прогноз, автоматическую газовую и противопожарную защиту [5], технологическую и аварийную связь, позиционирование, технологические блокировки. К средствам 3-го уровня, так называемым другим технологиям [3], относятся взрывоустойчивые заслоны, перемычки, индивидуальные и коллективные средства защиты и спасения, аварийного оповещения, позиционирования и поиска застигнутых аварией людей и аварийной связи. По оценкам авторов, вклад мероприятий 1, 2 и 3-го уровней в общее снижение уровней риска составляет 50–60%, 25–35% и 5–25% соответственно.

Очевидно, что для средств 2-го и 3-го уровня одной из важнейших характеристик является их готовность. По этому признаку подсистемы МСБ можно классифицировать по двум типам: 1) подсистемы, парирующие опасные природные явления (АГЗ, текущий сейсмический и геофизический контроль и прогноз) и применяемые в аварийных ситуациях (аварий-

ное оповещение, поиск, аварийная связь, взрывозащита горных выработок, средства защиты и спасения); 2) подсистемы, относящиеся к АСУТП и АСУПП (транспорт, водоотлив, проветривание, дегазация, газоотсос, АГК, в том числе противопожарный контроль и защита, контроль пылевого режима, технологическая связь и т.п.).

Важнейшими требованиями к подсистемам 1-го типа являются их гарантированная работоспособность — функционирование в аварийных ситуациях (при пожарах, разрушениях, после взрывов, горных ударов, внезапных выбросов, затоплении и т.д.), высокая надежность и коэффициент готовности и соответствие минимальным обязательным требованиям. Подсистемы 2-го типа базируются на развитой подземной инфраструктуре (сотни датчиков, контроллеров, источников питания и десятки километров кабельных линий) и поэтому характеризуются низкими показателями надежности, так как в аварийных ситуациях и аварийных горных выработках невозможно гарантировать функционирование находящихся в них стационарных электронных, электрических и программируемых систем. Такое разделение позволяет применять для решения соответствующих задач программно-технические средства АСУТП и АСУПП, эксплуатируемые и серийно выпускаемые системы 1-го типа, что обеспечивает снижение затрат в течение всего жизненного цикла МСБ. Отметим, что многие производители предлагают единые МСБ или комплексы систем, реализующие функции МСБ, однако никто не может реализовать все функции МСБ наилучшим образом. Это делает важным для проектных и эксплуатирующих организаций возможность применения лучших систем, реализующих различные функции МСБ в комбинациях, обеспечивающих получение оптимальных результатов в конкретных горно-технологических условиях, при обязательном соблюдении требований промышленной безопасности, а для производителей — обеспечение совместимости производимых ими систем и средств.

Цель использования МСБ — одновременное повышение экономической эффективности и уровня безопасности за счет предоставления в нормальных и аварийных ситуациях оперативной и достоверной информации о состоянии, тенденциях и признаках опасных ситуаций и явлений, получаемой путем комплексной обработки данных от различных информационных, измерительных, управляющих и противоаварийных систем, а также осуществление противоаварийного управления и защиты. Важнейшими задачами МСБ являются: а) обеспечение постоянной готовности различных средств защиты и спасения 1-го типа; б) ранжирование объектов контроля по степени и виду опасностей; в) выявление опасных явлений, признаков и тенденций. Можно утверждать, что ядром МСБ являются не технические средства получения информации (сенсоры) и их передачи (коммуникации), а научно обоснованные методы обработки данных и принятия решений.

Таким образом, МСБ не является единой технической системой и даже просто технической системой, ее необходимо рассматривать как информационную систему, которая использует ресурсы технических и других ин-

формационных систем. Важно также отметить, что при рассмотрении МСБ как технической системы остро встают вопросы постоянных неоправданных и непроизводительных затрат, что связано с необходимостью при большинстве изменений проводить ее сертификацию по взрывозащите и метрологии и получать разрешения на применение. Также неизбежно непрерывное проведение экспертиз промышленной безопасности в связи с фактическим постоянным изменением МСБ в процессе эксплуатации.

ООО «Информационные горные технологии» с компаниями-партнерами на основе описанного подхода к построению МСБ разработало технические системы, комплексы и средства [1], реализующие следующие функции МСБ [6]:

1) аэрологический контроль, газовую и противопожарную защиту и многие функции АСУТП осуществляют системы газоаналитические шахтные многофункциональные «Микон 1Р» и «Микон III», комплекс аппаратуры «КРУГ»;

2) аварийное оповещение (гарантированную передачу сообщений об аварии от горного диспетчера в подземные выработки индивидуально каждому горнорабочему на 95–98% всех поддерживаемых горных выработок по протяженности) до, во время и после аварии – комплекс аварийного оповещения и селективного вызова СУБР-1П;

3) наблюдение или технологическое позиционирование (определение положения персонала в подземных выработках в нормальных технологических условиях с точностью до участка горной выработки) на момент возникновения аварии – система позиционирования горнорабочих и транспорта СПГТ-41;

4) поиск или аварийное позиционирование (обнаружение человека и определение его местоположения под завалом через слой породы толщиной не менее 20 м в течение 36 ч) в любых аварийных ситуациях – система поиска в аварийных ситуациях СПАС «Микон»;

5) для непрерывного контроля параметров угольного массива и вмещающих пород непосредственно во время и в зоне ведения горных работ разработаны опытные образцы системы «Микон-ГЕО» [4], обеспечивающей: а) определение для контролируемого участка его блочной структуры и сейсмических атрибутов блоков с достоверностью не менее 0,7 на основе обработки данных о сейсмических волнах, возбуждаемых рабочими органами горных машин при их нормальной работе; б) текущую оценку устойчивости элементов горного массива по совокупности независимых объективных критериев; в) прогноз процессов развития вязко-пластичных ударных деформаций на основе анализа динамики изменения атрибутов блоковой структуры в пространстве и времени;

6) для оперативной, технологической подземной связи разработаны опытные образцы системы многофункциональной связи СМС «ИСЕТЬ», обеспечивающей локальную и диспетчерскую беспроводную связь и технологическое позиционирование с точностью до ± 10 м.

Все разработанные системы, средства и комплексы интегрируются друг с другом и с существующими шахтными информационно-управляющими системами на уровне стандартных интерфейсов и протоколов. Для реализации требований к индивидуальному газовому контролю и защите используются серийно выпускаемые портативные переносные газоанализаторы М02, которые интегрированы с системами типа «Микон» и СПГТ-41. Для обеспечения гарантированной совместной работоспособности используемых радиосистем (СУБР-1П, СПГТ-41, СПАС «Микон») серийно выпускаются светодиодные головные малогабаритные светильники СГМ «ИСЕТЬ».

Предлагаются системы разных производителей, реализующих функции МСБ, но остается неразрешенной главная проблема — отсутствие научно обоснованных методов комплексной обработки данных, что исключает возможность достижения сформулированной цели и обеспечения безопасности на качественно новом уровне.

МСБ должна обеспечивать оперативный контроль соблюдения проектных решений. Для этого необходимо определять отклонения текущих значений контролируемых параметров (режимов, состояний) от проектных или эталонных. В настоящее время в качестве эталона безопасной шахты принимается статическое описание, которое дано в [6] в виде прямых требований к поведению элементов шахты и ограничений. Это делает невозможным или затруднительным ранжирование объектов контроля по уровню риска и прогнозирование опасных ситуаций и сводится к фиксации нарушений при преодолении предельных отклонений и несоответствии требованиям. Продуктивным выглядит подход, который заключается в использовании компьютерной модели шахты, включающей: геоинформационное, геологическое, физико-химическое, сейсмическое и геодинамическое описание шахты и ее окрестностей; описание горных выработок, конструкций и сооружений, систем энергоснабжения и транспорта, основных и вспомогательных технологических процессов, средств АСУТП и МСБ и алгоритмов их действия и т.п. Такая модель должна быть постоянно действующим и обновляемым электронным проектом, являться эталоном, поддерживаться в течение жизненного цикла шахты и использоваться как основа электронного плана ликвидации аварий. С использованием такой модели могут оцениваться отклонения реальных объектов от их эталонных моделей и на этой основе определяться отказы, неисправности, нарушения; проигрываться различные сценарии управления различными процессами; идентифицироваться ненаблюдаемые величины и состояния; оцениваться типовые сценарии ведения горных работ и развития угроз; проводиться расчет текущего уровня риска для участков, выработок шахты и всей шахты целиком и степени опасности по различным факторам; вырабатываться предупреждающие воздействия и формироваться оценки типовых сценариев развития угроз и т.д. Такая глобальная задача может рассматриваться как перспективное направление работ. Но в настоящее время можно констатировать, что нет согласованного и квалифицированного понимания концепции

МСБ, отсутствует терминология и сформулированные основные технические требования, но есть отрицательный опыт разработки стандартов МСБ, несоответствия вводимых требований к действующей МСБ нормативной и терминологической базе и очевидные конфликты интересов.

Литература

1. *Бабенко А. Г., Лапин С. Э., Вильгельм А. В., Оржиховский С. М.* Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе // *Безопасность труда в промышленности*. 2011. № 1. С. 16–22.

2. *Бабенко А. Г., Малыгин П. А.* О требованиях к функциональной безопасности систем автоматической газовой защиты угольных шахт // *Изв. вузов. Горный журнал*. 2010. № 1. С. 73–84.

3. ГОСТ Р МЭК 61508-1–2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 1. Общие требования. Введ. 2008-06–01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 45 с.

4. *Лапин Э. С., Писецкий В. Б., Бабенко А. Г., Патрушев Ю. В.* «Микон-ГЕО» — система оперативного обнаружения и контроля состояния зон развития опасных геогазодинамических явлений при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом // *Безопасность труда в промышленности*. 2012. № 4. С. 18–22.

5. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Серия 05. Вып. 23. М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2012. 110 с.

6. ПБ 05-618–03. Правила безопасности в угольных шахтах. Серия 05. Вып. 11. М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2011. 296 с.

УДК 622.861

Е. Б. ГРИДИНА,
канд. техн. наук, доц.
А. В. ПАСЫНКОВ,
аспирант

(Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Аннотация. В статье проанализированы основные факторы, влияющие на травматизм и аварийность на угольных разрезах Кузбасса. Выявлены основные причины инцидентов при открытой разработке угольных месторождений. С целью постоянного мониторинга уровня промышленной безопасности на горнодобывающих предприятиях использованы корреляционно-регрессионный метод и экспертно-аналитические оценки. Выявлены достоинства и недостатки указанных методов при планировании превентивных мероприятий, направленных на предупреждение аварий и несчастных случаев.

Ключевые слова: риск, травматизм, аварийность, угольный разрез, регрессионный анализ, корреляция, экспертные оценки.

Summary. The article analyses the main factors affecting the traumatism and breakdown susceptibility on mines of Kuzbas. Identified the main causes of incidents in the public development of coal deposits. With the purpose of continuous monitoring of the level of industrial safety at mining enterprises used correlation and regression method and expert evaluations. Identified the advantages and disadvantages of these methods in the planning of preventive measures, directed at prevention of accidents and incidents.

Keywords: risk, injuries, accidents, coal mine, the regression analysis, correlation, expert assessments.

Известно, что в Российской Федерации проблема обеспечения безопасности промышленного комплекса и, как следствие, безопасности труда особенно обострилась к концу XX в. в результате децентрализации государственного управления промышленностью, ликвидации отраслевых структур управления в промышленности и развития различных форм собственности [1].

Производственные системы в горной промышленности, и в частности в угольной отрасли, относятся к сложным техническим системам, поэтому выбор и взаимоувязка методов управления ими представляют собой трудоемкую задачу. Для ее решения необходимо уметь количественно оценивать действие различных опасных и вредных производственных факторов.

С этой целью в настоящее время активно используются показатели аварийности объектов; показатели общего и смертельного травматизма; оценка ущерба от аварий, инцидентов и несчастных случаев; результаты количественного анализа риска; экспертные оценки и пр. Каждый из подходов в оценке уровня промышленной безопасности имеет как достоинства, так и недостатки. В некоторых случаях, как показывает практика, статистических методов (например, корреляционно-регрессионного) для объективной оценки оказывается недостаточно вследствие нехватки или недостоверности исходной информации. В таких случаях оптимальным вариантом является использование комбинированного метода, сочетающего экспертно-аналитическую и статистическую составляющие.

Травматизм как всякое сложное случайное событие представляет собой многофакторную модель. Для выявления связей технологических, организационных и экономических факторов с уровнем травматизма были использованы статистические данные по предприятиям ОАО «Разрез „Киселевский”» и ЗАО «Черниговец» (ОАО «Холдинговая компания „СДС-Уголь”») (рис. 1, 2 и 3). Однако, как показал корреляционно-регрессионный метод, уровень травматизма и такие показатели, как объемы выемки полезного ископаемого, скорость подвигания фронта горных работ, скорость углубки, коэффициент вскрыши, глубина залегания рудного тела, выявленные нарушения технологии производства, финансовые вложения в промышленную безопасность и охрану труда, связаны незначительно.



Рис. 1. Динамика производственного травматизма и объемов выемки угля за 10 лет по разрезу «Киселевский» (коэффициент корреляции — 0,35)

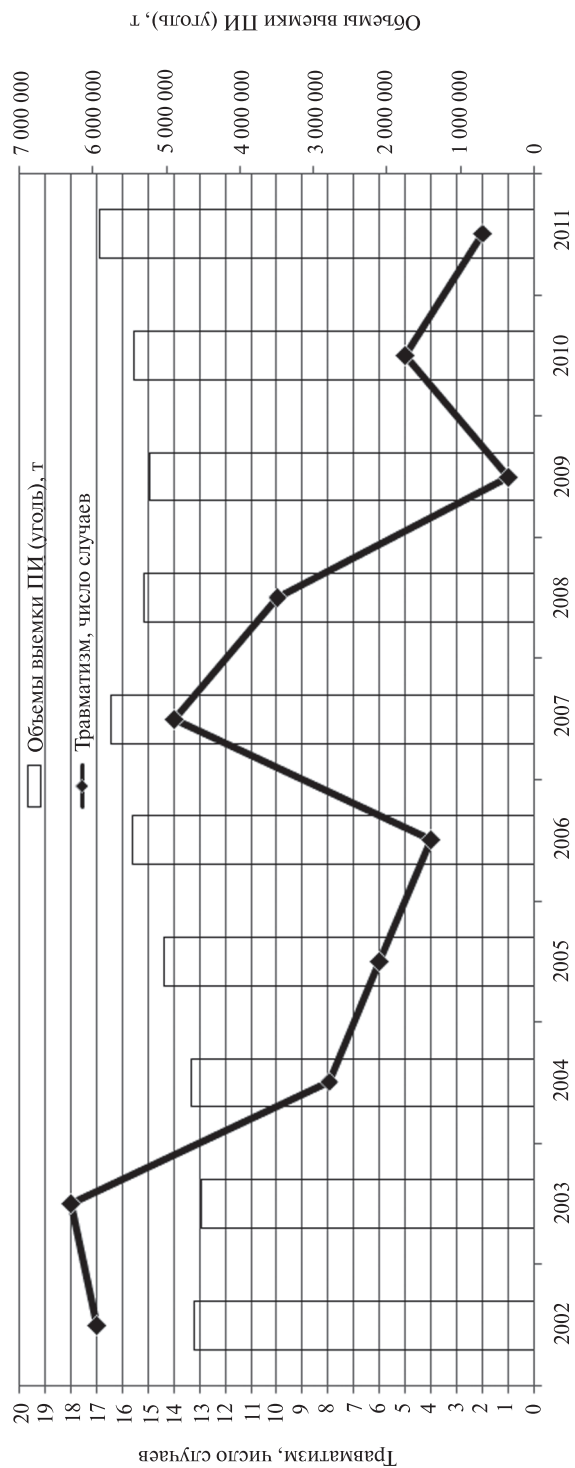


Рис. 2. Динамика производственного травматизма и объемов выемки угля за 10 лет по разрезу «Черниговец» (коэффициент корреляции — 0,55)

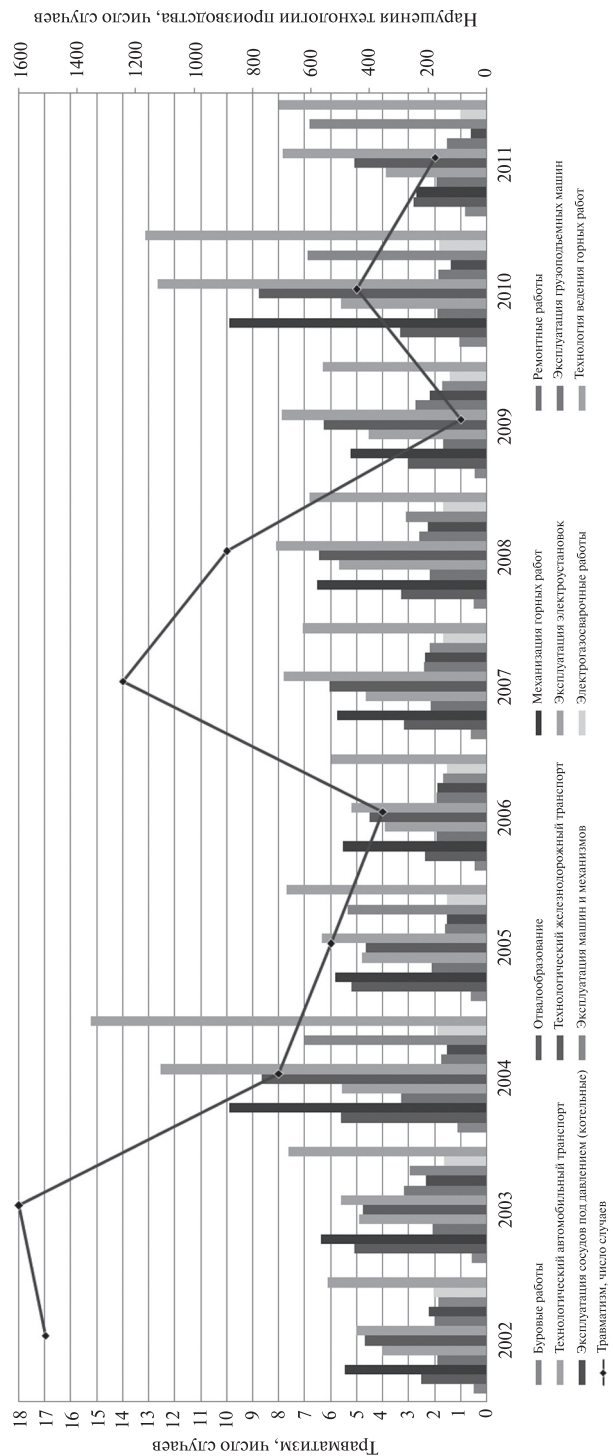


Рис. 3. Динамика производственного травматизма и нарушений технологии производства за 10 лет по разрезу «Черниговец» (коэффициент корреляции — 0,09)

Таким образом, оценить статистическим методом влияние указанных факторов на травматизм весьма сложно, поскольку большинство из них не имеет количественной связи с выходным параметром модели — травматизмом или эти связи слишком сложны. При этом попытки повысить эффективность в области промышленной безопасности и охраны труда посредством приобретения и использования более современного и зачастую зарубежного оборудования (выемочного, транспортного и др.) не приносят желаемого результата, поскольку приобретаемая техника попадает в устоявшуюся систему функционирования горного предприятия. В некоторых случаях данная ситуация осложняется противоречиями в основных представлениях субъектов о путях и способах обеспечения безопасности производства.

С целью формирования баланса интересов и ответственности персонала, а также менеджмента угольных предприятий в области промышленной безопасности необходима диагностика производственного взаимодействия. Для количественного ранжирования факторов по степени их влияния на безопасность в данном случае удобно воспользоваться экспертным методом, суть которого заключается в предъявлении экспертам всех факторов модели с тем, чтобы они, опираясь на собственный опыт и интеллект, смогли распределить их по степени влияния на травматизм, т.е. выделить наиболее важные значимые факторы. Такое распределение может позволить достаточно обоснованно строить политику снижения травматизма [2].

Число экспертов существенно влияет на точность групповой оценки. Малочисленность группы не позволяет обеспечить достаточную статистическую достоверность их выборочной оценки в области исследуемой проблемы, ее соответствие ситуации в генеральной совокупности, т.е. истинному положению. Кроме того, при небольшом числе представителей экспертной группы на общую групповую оценку существенное влияние оказывают индивидуальные оценки экспертов.

Оптимальная численность экспертов для обоих угольных разрезов была определена по формуле

$$N = 0,5 \left(\frac{3}{b} + 5 \right) \text{ (чел.)}, \quad (1)$$

где b — необходимая точность экспертизы (%), деленная на 100, т.е. $0 < b < 1$ [3].

Таким образом, согласно формуле (1), при необходимой точности экспертизы, равной 0,1, для получения достоверных данных требуется опросить минимум 18 экспертов.

В процессе проведения экспертного анализа было опрошено 70 человек управляющего состава двух Кузбасских угольных разрезов — «Черниговец» и «Киселевский». К оценке были привлечены эксперты, составившие группы директоров, начальников, инженеров по охране труда и промышленной безопасности, мастеров. Все респонденты имеют высшее техническое образование. Средний стаж работы всех респондентов на угольных разрезах составляет 8 лет. Средний возраст респондентов — 36 лет.

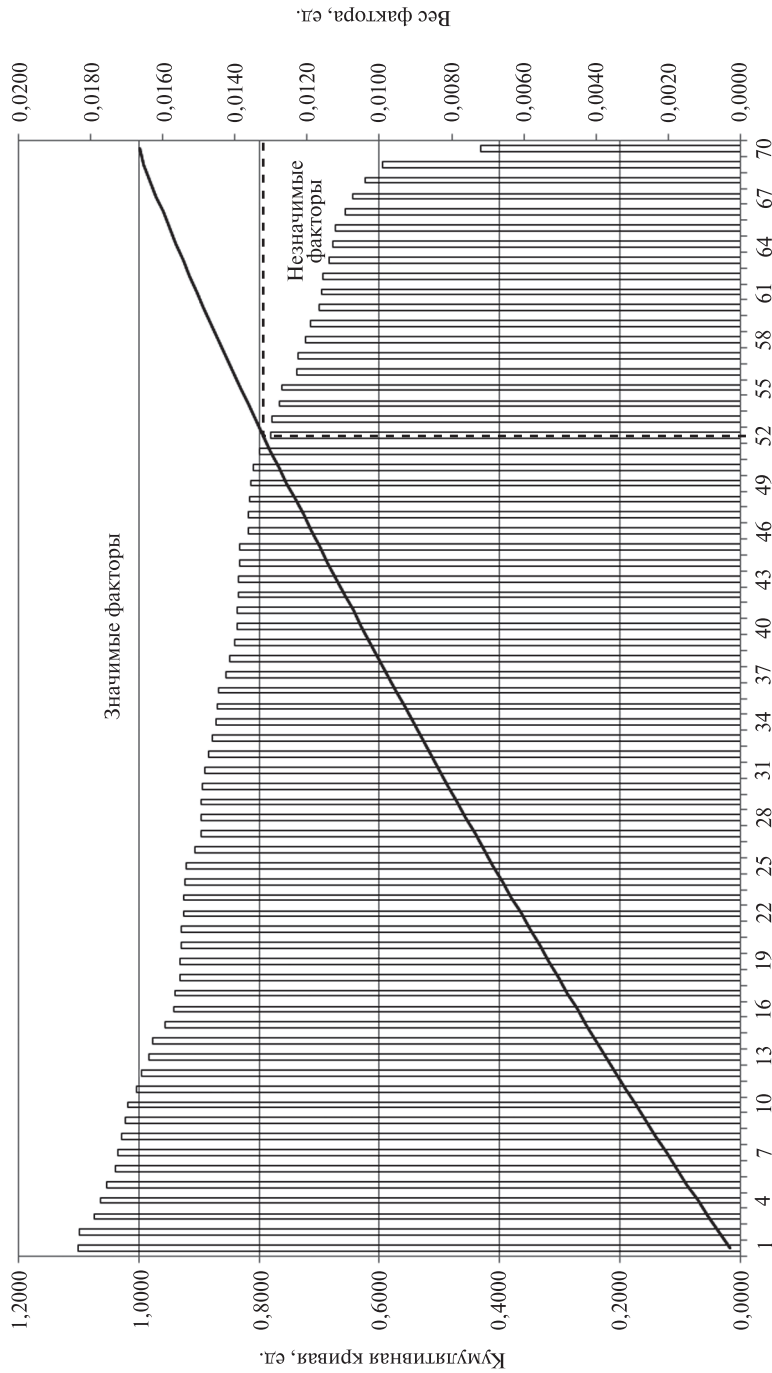


Рис. 4. Зависимость достоверной вероятности результатов экспертной оценки от количества экспертов в группе

Для того чтобы выявить основные факторы, влияющие на травматизм, использовалась диаграмма Парето. Она основана на принципе 80/20, согласно которому 20% причин приводят к 80% проблем. Поэтому целью построения диаграммы является выявление этих причин для концентрации усилий по их устранению [4].

Для построения кумулятивной кривой Парето вычисляется итоговая сумма значимости факторов путем арифметического сложения коэффициентов значимости всех рассматриваемых факторов и откладывается на диаграмме по правой оси.

В результате построения диаграммы (рис. 4) было выявлено, что значимыми можно считать факторы с 1-го по 51-й. В табл. 1 представлены первые десять из них.

Таблица 1

Факторы, влияющие на травматизм сотрудников угольных разрезов

Группа факторов	Номер фактора	Фактор	Вес
Социально-личностный	x4	Неукомплектованность участков персоналом, сокращение численности без изменения технологии	0,0184
Социально-личностный	x6	Личная неосторожность	0,0183
Социально-личностный	x7	Низкая квалификация исполнителей	0,0179
Социально-личностный	x8	«Авось все обойдется»	0,0177
Социально-личностный	x9	Беспечность исполнителей	0,0176
Организационно-технологический	x69	Вынужденная эксплуатация неисправного оборудования, работа в аварийных режимах	0,0173
Социально-личностный	x16	Пренебрежительное отношение к имеющимся средствам защиты	0,0172
Социально-личностный	x26	Игнорирование требований безопасности	0,0171
Социально-личностный	x5	Нарушения трудовой дисциплины (ранний уход с рабочего места, бесконтрольность, употребление спиртных напитков и наркотических веществ)	0,0171
Социально-личностный	x13	Несогласованность действий	0,0170

Таким образом, экспертный анализ позволил определить список важнейших факторов, в котором социально-личностные и организационно-технологические стоят в числе первых. Этот факт говорит о том, что основные факторы, влияющие на травматизм, так или иначе связаны с человеком (человеческий фактор).

К сожалению, на угольных разрезах в настоящее время все еще не уделяется должного внимания человеческому фактору. В значительной степени это связано с тем, что воздействие на него — процесс достаточно длительный, требующий постоянного внимания и контроля. Как показывает практика, не всегда эффективной оказывается система штрафов и поощре-

ний в области промышленной безопасности. Более того, большинство легко выявляемых причин нарушений правил техники безопасности на современных угольных открытых разработках (в частности, Кузбасса) уже устранены. При этом одним из ведущих ограничений, не позволяющих российским угольным предприятиям более эффективно осваивать современные модели инновационного технологического развития, является несогласованность мнений в области обеспечения промышленной безопасности. Для оценки уровня баланса интересов персонала и руководящего состава наиболее эффективным является использование коэффициента конкордации мнений.

Таким образом, для целенаправленной работы в области предупреждения производственного травматизма и в целом промышленной безопасности в настоящее время необходима правильная расстановка приоритетов, где одно из ключевых мест должно быть отведено именно социально-личностному фактору. Это позволит более эффективно и рационально распределять средства горнодобывающего предприятия.

Литература

1. *Субботин А. И.* Управление безопасностью труда: Учебное пособие для горных вузов. М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2004. 266 с.
2. *Лудзиш В. С.* Экспертная оценка значимости факторов, влияющих на травматизм шахтеров / В. С. Лудзиш, Л. А. Гимельшейн // Безопасность труда в промышленности. 1996. № 6. С. 52–53.
3. *Алексеев А. Н.* Исследование систем управления. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://e-college.ru/xbooks/xbook192/book/index/index.html?go=part-003*page.htm
4. *Кох Р.* Принцип 80/20 / пер. с англ. Д. И. Капгкан. 2-е изд. М.: ООО «Попурри», 2004. 352 с.



ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.8

Г. И. КОРШУНОВ,
докт. техн. наук, проф.

Н. А. МИРОНЕНКОВА,
канд. техн. наук

Р. В. ПОТАПОВ,
аспирант

А. А. ЯКОВЕНКО,
аспирант

(Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧИХ (РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ) ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены основные правила обеспечения радиационной безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, а также методы нормализации радиационной обстановки.

Ключевые слова: радон, нормализация радиационной обстановки, горные выработки.

Summary. In memoir the main rules of radiation safety in building and operation of underground structure, and also methods of formation of a radiation environment.

Keywords: radon, normalization of the radiation environment, workings.

Анализ результатов исследования радиационной обстановки на подземных горных предприятиях неурановой отрасли показал, что уровни облучения работников за счет природных источников излучения практически везде достигают, а в ряде случаев и превышают значения, допустимые для персонала (табл. 1). Ведущим радиационным фактором на неурановых шахтах являются дочерние продукты изотопов радона. Исключение составляют шахты по добыче золота, угля и сланца, где наибольшую дозу облучения работники получают от долгоживущих природных радионуклидов, содержащихся в витающей рудничной пыли [2]. Большое число работающих делает актуальной проблему обеспечения гигиенически благоприятных условий

труда горняков, занятых добычей полезных ископаемых, строительством и эксплуатацией подземных сооружений.

Таблица 1

**Уровни облучения природными источниками работников предприятий
горнодобывающей отрасли (неурановая промышленность) [2]**

Добываемое сырье	Мощность дозы, мкР/ч	ЭРОА изотопов радона в воздухе, Бк/м ³		Эффективная доза, мЗв/год
		²²² Rn	²²⁰ Rn	
Вольфрам, олово	$\frac{15-54}{22}$	$\frac{15-5240}{1480}$	$\frac{1,1-15}{3,2}$	$\frac{1,1-88,0}{24,60}$
Молибден, ниобий и редкие металлы	$\frac{5-90}{41}$	$< \frac{10-5840}{855}$	$< \frac{1-21}{3,3}$	$\frac{0,42-101,0}{14,9}$
Медь, никель, цинк, свинец	$\frac{4-15}{9}$	$< \frac{10-5700}{154}$	$< \frac{1-6,1}{1,2}$	$\frac{0,20-95,0}{2,8}$
Пирит, магнетит	$\frac{10-35}{22}$	$< \frac{10-1880}{389}$	$< \frac{1-1,8}{1,1}$	$\frac{0,34-31,0}{6,8}$
Сидерит, флюорит, мусковит и другие минералы	$\frac{5-30}{17}$	$< \frac{10-3220}{339}$	$< \frac{1-20}{3,4}$	$\frac{0,34-53,4}{6,1}$
Золото	$\frac{6-38}{17}$	$< \frac{10-1970}{153}$	$< \frac{1-37}{3,3}$	$\frac{0,35-35,3}{3,05}$
Уголь, сланец	$\frac{3-16}{8}$	$< \frac{10-400}{23}$	$< \frac{1-4,2}{2,0}$	$\frac{0,2-6,8}{0,68}$
Огнеупорные глины	$\frac{17-25}{21}$	$\frac{20-900}{307}$	$\frac{8-17}{12}$	$\frac{1,1-15,3}{6,3}$
Дренажные шахты	$\frac{4-55}{11}$	$< \frac{10-1540}{148}$	$< \frac{1-16}{3,9}$	$\frac{0,32-26,8}{2,90}$

Об этом свидетельствуют, в частности, результаты оценки радиационной обстановки в Северо-Муйском железнодорожном тоннеле. При его строительстве индивидуальные дозы облучения проходчиков достигали 300 мЗв/год, а коллективная годовая доза персонала тоннеля в 2 раза превышала коллективную годовую дозу всего подземного персонала отечественных урановых рудников [3]. Это облучение связано с воздействием на людей источников ионизирующего излучения природного происхождения, в первую очередь дочерних продуктов ²²²Rn.

Согласно ПБ 03-428-02 «Правила безопасности при строительстве подземных сооружений» [4] на этапе проектирования подземных сооружений на основании инженерных изысканий необходимо составление предварительного прогноза радиационной обстановки. Результаты прогноза должны учитываться при проектировании горных выработок, выборе технологии строительства, расчете вентиляции выработок и определении материала и толщины обделки. При проведении горных работ закрытым и

открытым способами администрация организации обязана установить наличие природных радиационно опасных факторов на рабочих местах.

При составлении прогноза радиационной обстановки на проектируемом (строящемся) объекте проводится изучение физических свойств горных пород и определяется содержание в них естественных радионуклидов (ЕРН). При наличии геологоразведочных горных выработок проводится исследование содержания радона, дочерних продуктов распада радона (ДПР) и дочерних продуктов распада торона (ДПТ) в их атмосфере. Результатом исследований пород и руд (радиационной обстановки в существующих выработках) является прогнозируемое значение радоновыделения в единицу объема и величина дебита радона (D_{Rn}) как для всего рудника (шахты, сооружения), так и для отдельных участков и важнейших горных выработок. Для этой цели проводится оценка поступления радона в рудничную атмосферу из стен горных выработок (в том числе и неиспользуемых пространств), рудничных вод и в случае необходимости — из массивов измельченной горной массы, хранящихся в подземных условиях:

$$D_{\Sigma} = D_{\text{стен}} + D_{\text{вод}} + D_{\text{масс}} \text{ (Бк/с)}, \quad (1)$$

где D_{Σ} , $D_{\text{стен}}$, $D_{\text{вод}}$, $D_{\text{масс}}$ — суммарный дебит радона будущего предприятия, дебиты радона с поверхностей горных выработок, рудничных вод и массивов измельченной горной массы соответственно.

Для оценки значения $D_{\text{стен}}$ проводится изучение содержания ^{226}Ra в горных породах и определение их коэффициента эманирования радона K_{Rn} , а также исследование физических свойств пород (в первую очередь газопроницаемость) [1].

$$D_{\text{стен}} = S_{\text{выр}} \rho K_{Rn} \sqrt{\lambda d} \text{ (Бк/с)}, \quad (2)$$

где $S_{\text{выр}}$ — общая площадь поверхности горных выработок;

ρ — средняя плотность горных пород, окружающих горные выработки;

K_{Rn} — среднее значение коэффициента эманирования горных пород стен будущего рудника;

λ — постоянная распада радона;

d — среднее значение коэффициента диффузии радона в горных породах, окружающих выработки.

Дебит радона из рудничных вод, обогащенных радоном, оценивается как сумма дебитов радона из всех источников воды:

$$D_{\text{вод}} = \sum_i (C_i \cdot V_i) \text{ (Бк/с)}, \quad (3)$$

где C_i — объемная активность радона в воде i -го источника, Бк/м³;

V_i — дебит воды этого же источника, м³/с.

Прогноз выделения торона в проветриваемый объем рудника также желателен, однако в настоящее время не существует надежных методов оценки эманирования торона на будущем предприятии. По этой причине ЭРОА торона и R_{Tn} оцениваются по содержанию тория в рудах и породах

с учетом имеющейся информации об эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) торона на аналогичных объектах.

Для нормализации радиационной обстановки могут применяться различные методы или комбинация методов, приведенных ниже:

- защита от внешнего гамма-излучения осуществляется путем изоляции и ликвидации источника излучения. В тех случаях, когда это невозможно, следует ограничить время пребывания персонала в опасных зонах или использовать дистанционно управляемую технику;
- совершенствование вентиляции рудника наиболее эффективно снижает уровни радиационно опасных факторов в рудничной атмосфере. Вместе с тем следует сразу оговорить, что необходимая эффективность достигается только при совместном проведении работ по оптимизации вентиляции и изоляции источников поступления радона в рудничную атмосферу;
- изоляция стен горных выработок различными видами покрытий вызывает эффективное снижение дебита радона. В настоящее время эта мера осуществляется путем возведения капитальной бетонной крепи или нанесением на стены различных изолирующих покрытий. Нанесение изолирующих покрытий (торкрет-бетона, полиуретана и др.) является эффективным и недорогим средством изоляции стен горных выработок, но, учитывая сейсмическую нестабильность пород в зоне ведения горных работ, срок эффективного действия этих покрытий не превышает четырех месяцев, по истечении которых в них образуется обширная сеть микротрещин, через которые радон свободно поступает в горные выработки;
- капитальная бетонная крепь часто возводится в главных транспортных и вспомогательных (насосные, подстанции) выработках и камерах и в воздухоподающих каналах независимо от противорадиационных защитных мероприятий. Она является эффективным и долговечным средством снижения эманирования радона из стен горных выработок. Вместе с тем капитальная бетонная крепь является дорогостоящим сооружением и ее применение в чисто противорадиационных целях не является эффективным с точки зрения анализа соотношения «затраты — выгода». По этой причине противорадиационное применение массивных бетонных покрытий оправданно только в тех выработках, где эманирование радона со стен намного выше среднего по шахте, и вносит ощутимый вклад в общешахтный дебит радона. Следует также отметить, что даже сооружение капитальной бетонной крепи в некоторых случаях не гарантирует защиту от поступления радона в атмосферу подземных сооружений. Это подтверждается данными, полученными при исследовании процессов накопления радона в подземных помещениях Санкт-Петербургского метрополитена. Результаты проведенных работ показали, что концентрация радона в грунте на глубине 50 м в месте расположения

Подземного лабораторного измерительного комплекса (ПЛИК) ФГУП НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина» (Комплекс расположен в специальных штольнях Санкт-Петербургского метрополитена) изменяется в течение года от 100 до 250 кБк/м³. При этом в непроветриваемых служебных помещениях ПЛИК концентрация радона в воздухе изменяется в пределах от 600 до 1000 Бк/м³. В проветриваемых служебных помещениях ПЛИК концентрация радона в воздухе изменяется в пределах от 50 до 300 Бк/м³. Для определения возможных источников поступления радона в воздух помещений ПЛИК был проведен ряд экспериментов, в том числе эксперименты, в ходе которых с помощью осушителей снижалась влажность воздуха. Анализ полученных данных позволил сделать вывод о том, что источником радона может быть также влага, поступающая в воздух помещений из окружающих горных пород сквозь капитальную бетонную крепь;

- для защиты от поступления в организм долгоживущих ЕРН, содержащихся в витающей рудничной пыли, также применимы средства индивидуальной защиты (СИЗ) легких и ограничение времени пребывания. Но наиболее действенными являются применяемые на предприятиях средства снижения запыленности воздуха;
- очистку воздуха обычно применяют в местах, где невозможно организовать забор чистого воздуха во вторичную (местную) вентиляционную систему. В силу того, что накопление ДПР в очищенном воздухе происходит достаточно быстро, фильтры должны располагаться на выходе нагнетательных вторичных вентиляционных систем;
- уменьшение дебита радона из рудничных вод, обогащенных радоном или радием, достигается уменьшением водопритоков. В случае когда снижение дебита обогащенной радоном воды не представляется возможным, ее отводят по трубам на поверхность, исключая при этом контакт воды с рудничной атмосферой.

Анализ проведенных мероприятий показывает, что меры, воздействующие на состояние радиационной обстановки на предприятии, дают снижение уровней облучения горняков в 5–50 раз при приемлемых затратах. При этом соответственно достигается оптимальное снижение значений уровней радиационно опасных факторов (в первую очередь ЭРОА радона и торона). Дальнейшее воздействие на состояние радиационной обстановки на руднике значительно снижает рентабельность производства. По этой причине после проведения комплекса мероприятий, воздействующих на состояние радиационной обстановки на руднике, дальнейшее регулирование уровней облучения персонала производится только путем применения СИЗ, ограничения времени пребывания в зонах повышенного облучения и применения дистанционного управления автоматизированным производством.

Все методы нормализации радиационной обстановки, приведенные выше, предполагают выполнение требований НРБ-99/2009 для среднего-

довых значений ЭРОА радона в горных выработках и не допускают ее кратковременного превышения над установленным уровнем на отдельных участках вследствие изменений естественной тяги, обусловленных климатическими условиями и даже временем суток. Таким образом, только непрерывный контроль радиационной обстановки и управление ею, а также определение и учет индивидуальных доз облучения позволят избежать случаев облучения людей, работающих в горных выработках, сверх установленных пределов.

Литература

1. *Быховский А. В.* Опыт борьбы с радоном при ведении горных работ / А. В. Быховский, Н. И. Чесноков, С. С. Покровский. М.: Атомиздат, 1969.
2. *Королева Н. А.* Уровни облучения природными источниками излучения работников подземных предприятий неурановой промышленности / Н. А. Королева, И. П. Стамат, М. В. Терентьев, Р. П. Терентьев // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1. № 4.
3. *Павлов И. В.* Уровни облучения подземного персонала рудников // АНРИ. 2004. № 1(36). С. 2–7.
4. ПБ 03-428–02 Правила безопасности при строительстве подземных сооружений.

УДК 622.86:614.8.084

С. В. ЕФРЕМОВ,
зав. каф. безопасности жизнедеятельности
Д. И. ИДРИСОВА,
ассистент каф. безопасности жизнедеятельности
(Санкт-Петербургский государственный
Политехнический университет, Россия)

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ОПЕРАТОРОВ ТЯЖЕЛОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы оценки условий труда в кабинах строительно-дорожных машин при проведении вскрышных и других горных работ.

Ключевые слова: горные работы, вскрышные работы, строительно-дорожная техника, условия труда.

Summary. In this article you can see problems of working conditions assessment in the cabin of heavy equipment during overburden mining.

Keywords: mining, overburden mining, heavy equipment, working condition.

Обеспечение безопасных условий труда операторов тяжелой техники является актуальной задачей при проведении вскрышных и других горных работ.

К вскрышным работам относится удаление горных пород, покрывающих полезные ископаемые, при открытой разработке месторождений. Земляные работы, связанные с удалением земляных масс для вскрытия месторождений полезных ископаемых, добычей полезных ископаемых открытым способом, также относятся к горным работам [2].

Машины, используемые при производстве данного вида работ, объединены в группу СДМ (строительно-дорожные машины). Довольно широко используются экскаваторы, бульдозеры и скреперы, а также гидромеханические установки.

Выемка и погрузка разрыхленных вскрышных пород из забоя выполняются, как правило, экскаваторами, землеройно-транспортными (колесными скреперами, бульдозерами) и погрузочно-транспортными (одноковшовыми погрузчиками и др.) машинами; широко используются автосамосвалы с большой грузоподъемностью.

При добыче крепких пород экскаваторы и баггеры используются для погрузки в вагоны взорванных масс, баггеры — землечерпальные и подъемные машины — применяются при съемке мягких наносов, вскрытии месторождений и добыче песков из золотоносных месторождений. Драги — плавучие экскаваторы — используются при добыче золота и платины из песков, находящихся под водой; торфососы — для добывания торфа, разжиженного гидравлическим способом. Также для вскрышных работ часто применяется одноковшовый дизель и электрический экскаватор. Для удаления мягких пород также используются скреперы.

Далее речь пойдет о нормировании лишь части факторов, учитываемых при оценке условий труда в кабинах машин при вскрышных работах.

Нормализация микроклиматических параметров в кабинах машин производится в соответствии с ПОТ РМ 008–99 «Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта» (табл. 1). В кабинах должны соблюдаться оптимальные значения воздушной среды, если при выполнении каких-либо видов работ невозможно обеспечить оптимальные значения показателей, устанавливаются допустимые величины показателей микроклимата [4].

Таблица 1

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в кабинах машин

Период года	Тип транспортного средства	Температура воздуха, °С (оптимальная/допустимая)	Относительная влажность, %; (оптимальная/допустимая)	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный и переходный периоды года	Грузовые и автобусы	18–20/17–23	60–40/ 75	0,2/0,3
	Тракторы, самоходные СДМ	≥ 14 °С — при температуре наружного воздуха минус (20±1) °С	75	< 1,5 при условии регулировки скорости
Теплый период года	Грузовые и автобусы	21–23 / не более чем на 3 °С выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 28 °С	60–40 / при 28 °С — не более 55; при 27 °С — не более 60; при 25 °С — не более 70; при 24 °С и ниже — не более 75%	Не более 0,3/ 0,2–0,5
	Тракторы, самоходные СДМ	≤ 28 °С — при установке кондиционера; ≤ 33 °С — при установке других средств нормализации	60%	< 1,5 при условии регулировки скорости

Окончание табл. 1

Период года	Тип транспортного средства	Температура воздуха, °С (оптимальная/допустимая)	Относительная влажность, %; (оптимальная/допустимая)	Скорость движения воздуха, м/с, не более
		При установке воздухоохладителей: 28 °С — при температуре наружного воздуха до 25 °С; 31 °С — при температуре наружного воздуха 25–30 °С; 33 °С — при температуре наружного воздуха > 30 °С;	60%	< 1,5 при условии регулировки скорости
		При установке вентилятора не должна превышать наружную более чем на 5 °С		

Примечания.

1. В числителе указаны оптимальные параметры, в знаменателе — допустимые.
 2. В теплый период года нижние границы допустимых температур не могут приниматься выше указанных для холодного периода года.
 3. Большая скорость движения воздуха соответствует наибольшей температуре воздуха, меньшая — минимальной температуре воздуха.
 5. Перепад температуры воздуха по высоте кабины не должен превышать 3 °С для автомобилей и 4 °С — для тракторов и СДМ.
 6. Температура внутренних поверхностей кабины автомобилей не должна отличаться от температуры воздуха в кабине более чем на 3 °С. Средняя взвешенная температура всех внутренних поверхностей кабины тракторов и СДМ (за исключением поверхностей стекол, панели моторного отсека и щитка приборов) не должна быть выше 35 °С.
 7. Кабина должна быть оборудована защитными козырьками, жалюзи и другими средствами защиты от солнечной радиации, а также средствами теплозащиты от работающего двигателя, обеспечивающими остаточную тепловую облученность водителя от обшивки кабины — не более 35 Вт/м², от окон — не более 100 Вт/м².
 8. Системы вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха должны обеспечивать регулирование воздушных потоков в кабине транспортного средства с обеспечением установленных параметров (табл. 2) и устранять запотевание и обмерзание стекол кабины.
 9. Система нормализации микроклимата в теплый и холодный периоды года должна обеспечивать подачу в кабину не менее 43 м³/ч очищенного наружного воздуха.
- Параметры воздушной среды устанавливаются в соответствии с ГН 2.2.5.1313–03 «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
- Контроль состояния воздушной среды в кабине транспортного средства должен осуществляться с учетом вида используемого топлива и концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны [1].

Таблица 2

**Номенклатура и предельно допустимое содержание загрязняющих веществ
в кабинах машин**

Загрязняющее вещество	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ ; (ПДК для пассажиров, мг/м ³)
Для всех двигателей	
Углерод оксид (СО)	20; (5,0)
Азота диоксид (в пересчете на NO ₂)	5; (0,085)
Азота оксиды (в пересчете на NO)	3; (0,4)
Дополнительно для двигателей на бензине	
Бензин топливный	300/100; (50,0)
Тetraэтилсвинец (этилированный бензин)	0,005; (0,0000003)
Дополнительно для дизельных двигателей	
Углеводороды алифатические предельные (в пересчете на С); (дизельное топливо)	900/300
Формальдегид	0,5; (0,035)
Акролеин	0,2; (0,03)
Дополнительно для двигателей на газе по ГОСТ 20448–90	
Пропан (в смесях ПА и ПБА), (C ₃ H ₈)	300
Бутан (в смесях ПА и ПБА), (C ₄ H ₁₀)	900/300
Пропилен	100
Бутилен	100
Метан	7000; (50,0)
Метанол	5

Концентрация пыли в кабине в зависимости от содержания SiO₂ не должна быть более указанной в табл. 3.

Таблица 3

**Концентрация пыли в кабине машины
в зависимости от содержания SiO₂**

Содержание кристаллического SiO ₂ в пыли, %	Среднесменная концентрация пыли, мг/м ³
До 2 (чистая асфальтированная дорога)	6
От 2 до 10 (асфальт с загрязнениями)	4
От 10 до 70 (грунтовая дорога)	2
От 70 до 100 (песчаный карьер)	1

В табл. 4 приведены требования к нормам освещенности в кабинах машин.

Таблица 4

Нормы освещенности в кабинах транспортных средств [4]

Наименование транспортного средства, рабочая поверхность, НТД	Освещенность, лк; яркость шкал, кд/м ²
1. Кабины автомобилей (ПОТ РМ 008–99)	
Общая освещенность в кабине на уровне щитка приборов	10
Освещенность шкалы приборов	1,2
2. Кабины операторов тракторов, самоходных строительно-дорожных машин (ГОСТ 12.2.120–88)	
Освещенность на уровне пульта управления и панели приборов	≥ 5
3. Кабины машиниста крана (крановщика)	
Освещенность на уровне рычагов и кнопок управления, панели приборов	
краны башенные строительные — ГОСТ 13556-91	20
краны-штабелеры — ГОСТ 12.2.053-91	30
Аварийное освещение	3
Освещение контрольно-измерительных приборов	10–15
Подсветка КИП на пульте управления должно обеспечивать возможность плавной регулировки яркости шкал с белым полем	0,6–5

Соотношение наибольшего и наименьшего значений яркости шкал приборов на пульте управления (коэффициент неравномерности) не должно превышать 3 : 1. Отношение наибольшего значения освещенности к наименьшему в пределах рабочей зоны обзора также не должно превышать 3 : 1.

Чрезмерный шум, характерный для горных работ, отрицательно влияет на состояние здоровья работников. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука определяются в соответствии с ГОСТ 12.1.003–83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» — 1999 г. Для СДМ требования по нормированию шума приведены в табл. 5 ниже [3].

Таблица 5

Уровни шума на рабочих местах

Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и иных аналогичных машин	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА Гц/кГц
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1 кГц	2 кГц	4 кГц	8 кГц	
	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Исходя из вышеизложенного алгоритм оценки условий труда машинистов тяжелой техники при проведении вскрышных и других горных работ должен включать следующие этапы:



Литература

1. ГН 2.2.5.1313–03 «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
2. Горная энциклопедия. М.: Рубикон, 2008; <http://www.mining-enc.ru/>
3. ГОСТ 12.1.003–83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» — 1999 г.
4. ПОТ РМ 008–99 «Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта».

УДК 814.89

С. И. ЧЕБЕРЯЧКО,
канд. техн. наук, доц.

Ю. И. ЧЕБЕРЯЧКО,
канд. техн. наук, доц.

Е. В. СТОЛБЧЕНКО,
ассистент

(Национальный горный университет,
г. Днепропетровск, Украина)

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТИВОПЫЛЕВЫХ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. Приведены рекомендации относительно выбора противопылевых респираторов для условий горнорудных предприятий исходя из защитной эффективности, сопротивления дыхания, дисперсного состава пыли, характера работ, времени эксплуатации, климатических условий.

Ключевые слова: респиратор, органы дыхания, коэффициент защиты, эффективность фильтрации.

Summary. Recommendations on the selection of a dust mask for conditions mining companies, based on the protective efficacy, resistance, breathing dust dispersed composition, the nature of work, time of operation, climatic conditions.

Keywords: respirator, respiratory, protection factor, filtration efficiency.

Наиболее распространенным неблагоприятным фактором внешней среды в горной промышленности является пыль. Воздействие пыли на организм работающих может привести к развитию пневмокониозов и пылевых бронхитов. Одним из действенных средств защиты органов дыхания сегодня является противопылевой респиратор. В этой связи допущенные ошибки при его выборе существенно снижают общий защитный эффект. С другой стороны, свой отпечаток накладывают сложные метеорологические условия и тяжесть выполняемых работ, а если при этом учесть, что неправильно подобранный тип средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) приводит к неоправданному перенапряжению функциональных систем организма человека, то в результате — резкое снижение трудоспо-

способности. Поэтому регламентации применения респираторов необходимо уделять особое внимание, с тем чтобы минимизировать их влияние на жизнедеятельность человека и максимально защитить его от воздействия вредных веществ.

С целью обоснования подбора необходимого типа защитного средства для конкретных условий труда с учетом обеспечения максимально возможной работоспособности человека необходимо учитывать конструктивные особенности респираторов, защитную эффективность, состав и количественное содержание вредных веществ в окружающей среде, срок защитного действия, режим труда, климатические условия. Оценим каждый из факторов, характеризующих СИЗОД и влияющих на его качественные характеристики.

Конструктивные особенности. СИЗОД делятся на одноразовые и многоразовые. Одноразовые СИЗОД применяются из расчета, что их срок действия будет равняться одной рабочей смене при концентрации вредных веществ не более 50 мг/м^3 . В случае невыполнения этого условия необходимо использовать многоразовые.

Защитная эффективность респиратора оценивается коэффициентом защиты K_z . Все фильтрующие СИЗОД делятся на три группы с разной эффективностью защиты: 1) низкая ($K_z < 10$); 2) средняя ($K_z = 10-100$); 3) высокая ($K_z > 100$). В европейских стандартах низкая степень защиты обозначается цифрой 1, средняя — 2 и высокая — 3 [1].

Для определения коэффициента защиты K_z обычно экспериментально определяют коэффициент проникания $K_{\text{п}}$, выражающий отношение концентрации вредного вещества в подмасочном пространстве СИЗОД к концентрации этого вещества в окружающей среде [2]:

$$K_z = 100 / K_{\text{п}}. \quad (1)$$

В табл. 1 приведены коэффициент проникания, определенный по стандартному тест-аэрозолю «масляный туман» с диаметром частичек $0,28-0,32 \text{ мкм}$ [3], и коэффициент защиты для наиболее распространенных отечественных образцов СИЗОД. Из таблицы видно, что наилучшей степенью защиты среди многоразовых респираторов обладают «Пульс» и РПА-ТД.

Таблица 1

Характеристики противопылевых респираторов

Марка респиратора	Перепад давления при расходе воздуха 30 л/мин, Па		Коэффициент проникания по тест-аэрозолю «масляный туман» $K_{\text{п}}$, %
	вдох	выдох	
РПА-ТД-1	55	30	0,5–2
РПА-ТД-2	25	30	0,5–2,5
Пульс-К	55	15	0,5–2
Пульс-М	25	15	0,5–2,5
Клен-П	30	30	0,5–3,5

Важным показателем СИЗОД является перепад давления, который определяется сопротивлением воздушному потоку фильтров. В качестве физиологической характеристики сопротивление дыханию представляет собой величину, которая связана, с одной стороны, с объемом легочной вентиляции, структурой дыхательного цикла, тяжестью выполняемой работы, а с другой стороны, с влиянием окружающей среды, конструктивными особенностями респираторов. Однако при фиксированных параметрах внешнего дыхания человека и окружающей среды перепад давления зависит только от свойств фильтрующего материала:

$$\Delta p = \frac{4\nu\mu\beta H}{r^2(-\lambda - 0,5\ln\beta)}, \quad (2)$$

где ν — линейная скорость течения газа, м/с;
 μ — динамическая вязкость газа, Н · с/м²;
 β — плотность упаковки волокон;
 H — толщина фильтрующего слоя, м;
 r — радиус волокон, м;
 λ — поправочный коэффициент, зависящий от типа фильтрующего материала.

Связь между перепадом давления и коэффициентом проникания тест-аэрозоля можно представить в виде [2]:

$$K_{\text{п}} = \exp(-\alpha[\Delta p]), \quad (3)$$

где Δp — перепад давления на СИЗОД, Па;
 α — коэффициент фильтрации,

$$\alpha = \frac{2r\eta_{\Sigma}}{4\pi(-\lambda - 0,5\ln\beta)\nu\mu},$$

где η_{Σ} — суммарный коэффициент захвата частиц, обусловленный всеми механизмами фильтрации (электростатическим, инерционным, зацепления, диффузионным).

Анализируя выражение (3), приходим к выводу, что увеличения защитной эффективности можно достичь путем увеличения толщины фильтрующего слоя и плотности упаковки, а также за счет уменьшения диаметра волокон. В свою очередь это приведет к росту перепада давления на СИЗОД (рис. 1) и нагрузки на органы дыхания человека. СИЗОД высокого класса защиты нецелесообразно использовать при работах с нетоксичными веществами, поскольку производственные операции, выполняемые в противопылевых и универсальных респираторах, имеющих сопротивление 40–60 Па, следует относить к категориям по тяжести на один разряд выше по сравнению с такими же работами, не требующими применения респираторов [3].

С другой стороны, увеличение перепада давления не всегда приводит к повышению защитных свойств респиратора. В некоторых случаях из-за несовершенной конструкции обтюра повышение сопротивления фильтрующих элементов приводит к увеличению подсоса неочищенного

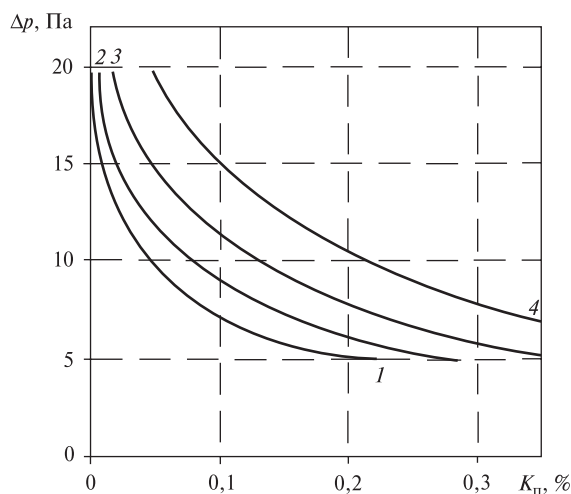


Рис. 1. Зависимость коэффициента проникания от перепада давления на СИЗОД при различных диаметрах волокна фильтрующего материала:
1 — 1,5 мкм; 2 — 2 мкм; 3 — 2,5 мкм; 4 — 3 мкм

воздуха в подмасочное пространство. В работе [4] была получена зависимость защитной эффективности респиратора от защитной эффективности фильтров, обусловленная величиной их сопротивления дыханию:

$$K_{п}^p = 10^{-\alpha(R_{ф.е}S)} + 0,8 \frac{\rho d^2}{18\eta} \sqrt{\frac{4\pi v^3}{Q_1 - \Delta p / R_{ф.е}}},$$

где $R_{ф.е}$ — сопротивление фильтра, Н · с/м⁵;
 S — площадь фильтра, м²;
 ρ — плотность частичек аэрозоля, кг/м³;
 d — диаметр частички аэрозоля, м;
 η — кинематическая вязкость воздуха, м²/с;
 v — скорость движения частички, м/с;
 Q — расход воздуха через респиратор, м³/ч.

Существует некий оптимум, при котором обеспечивается наибольшая защитная эффективность СИЗОД (рис. 2). При этом дальнейшее увеличение защитных свойств фильтров приводит к ухудшению защитной эффективности респиратора. Это объясняется тем, что из-за роста сопротивления воздушному потоку фильтра (неизбежно при увеличении качества его фильтрации) происходит перераспределение воздушных протоков и увеличивается подсос загрязненного воздуха через неплотности полосы обтюрации (рис. 3).

Сопротивление дыханию также воздействует на физиологическое состояние человека и при достижении определенной величины вызывает функциональные сдвиги в дыхательной системе (удлинение фазы вдоха, уве-

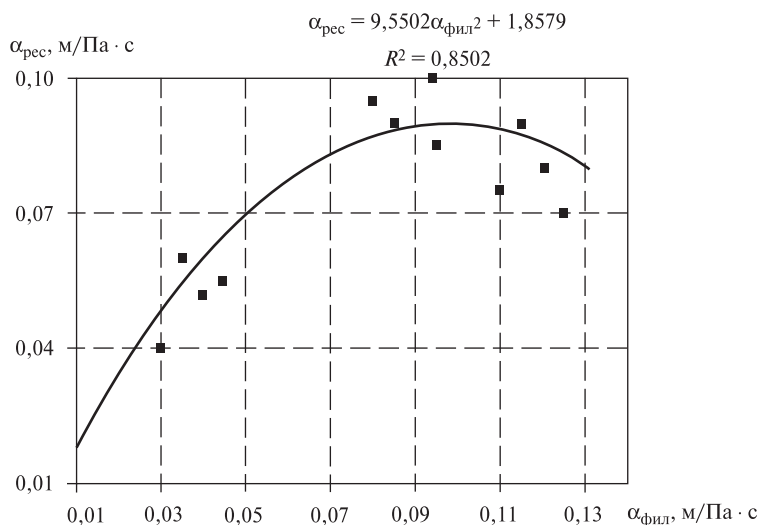


Рис. 2. Зависимость коэффициента фильтрующего действия респиратора от коэффициента фильтрующего действия фильтра

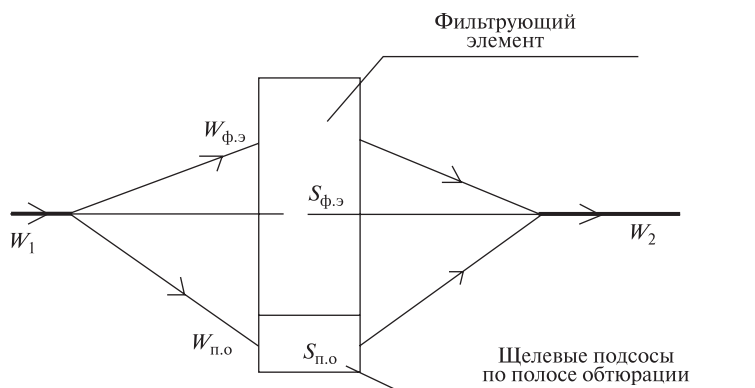


Рис. 3. Упрощенная схема распределения потоков воздуха в респираторе

личение объема вдоха, внутриальвеолярного давления, уменьшение частоты дыхания), что приводит к снижению работоспособности человека.

В значительной мере коэффициент защиты респиратора и его сопротивление зависят от характеристик фильтрующего материала, из которого изготавливается один из основных элементов СИЗОД — сменный противопылевой фильтр. Наибольшее распространение получили ФПП и элефлен. В табл. 2 приведены основные характеристики фильтров, которые были получены согласно методикам [5].

Казалось бы, применение элефлена, который имеет сравнительно высокий коэффициент проникания, должно быть менее эффективно, чем тканевой ФПП. Однако из-за небольшого сопротивления фильтра из элефлена защитная эффективность респиратора в целом выше, чем у СИЗОД с высокоэффективными фильтрами из ФПП 15-1,5 (табл. 2), что подтверждает предположение о перераспределении воздушных потоков в респираторе при увеличении сопротивления фильтра.

Таблица 2

Результаты лабораторных испытаний фильтров респиратора РПА-ТД

Испытуемое изделие	Перепад давления при расходе воздуха 30 л/мин ΔP , Па	Коэффициент проникания по МТ, при расходе воздуха 30 л/мин K_n , %	Коэффициент проникания микрошлиф-порошка М-5 K_n , %
Фильтры из элефлена	54,5±2,7	0,05±0,005	0,005±0,005
Фильтры из ФПП 15-1,5	73,4±3,5	0,01±0,005	0,0001±0,005
Фильтры из ФПП 15-0,6	61,3 ± 2,0	0,3±0,03	0,01±0,005
Респиратор РПА-ТД с фильтрами из ФПП 15-1,5	39±3,2	1,2±0,02	—
Респиратор РПА-ТД с фильтрами из элефлена	25±2,4	0,9±0,05	—

Выбор СИЗОД невозможно произвести без знания *состава и количественного содержания вредных веществ в окружающей среде*. Например, концентрация угольной пыли в зоне дыхания рабочего составит 300 мг/м³, ПДК для угольной пыли при содержании в ней SiO₂ до 10% составляет 4 мг/м³. Следовательно, рабочему необходимо использовать СИЗОД с коэффициентом защиты не менее 75 (300 / 4 = 75). В табл. 3 приведены марки СИЗОД, рекомендуемые к применению на угольных предприятиях, в зависимости от состава и количественного содержания в воздухе вредных веществ [1].

Таблица 3

Рекомендации по выбору СИЗОД в зависимости от условий труда

Рекомендуемые марки СИЗОД при превышении ПДК		
до 10 раз	от 10 до 100 раз	более 100 раз
Фильтрующие полумаски Лепесток-5, Росток-3, У-2К	Фильтрующие полумаски: Лепесток-40, Росток-2, Снежок-П, Снежок-Ф. Патронные респираторы с резиновыми полумасками: РПА-ТД, Пульс, Клен-П	

Срок защитного действия. В условиях большой запыленности, которыми характеризуются угольные предприятия, этот показатель является одним из основных. Время эксплуатации респираторов определяется временем достижения конечного сопротивления, которое согласно

ГОСТ 12.4.041–89 составляет 100 Па, при заданном расходе воздуха через СИЗОД 30 л/мин.

В результате многочисленных экспериментальных исследований, связанных с изучением механизмов осаждения частичек пыли на волокнах фильтрующих материалов, было получено эмпирическое выражение для определения времени эксплуатации респиратора [6], с помощью которого было рассчитано время эксплуатации фильтров к респиратору РПА-ТД при достижении критического сопротивления в 100 Па (табл. 4). В случае если фильтры будут использоваться больше указанного времени, произойдет резкое ухудшение защитной эффективности за счет появления подсосов по полосе обтюрации.

Таблица 4

Рекомендуемое время эксплуатации фильтров к респиратору РПА-ТД

Концентрация пыли, мг/м ³	Время эксплуатации фильтров соответственно расходу воздуха					
	30 л/мин		95 л/мин		30 л/мин	
	из ФПП 15-1,5		из элефлена		из мелтблота	
50	27,8	16,7	38,9	23,3	34,4	20,7
100	13,9	8,3	19,4	11,7	17,2	10,3
200	6,9	4,2	9,7	5,8	8,6	5,2
300	4,6	2,8	6,1	3,9	5,7	3,4
400	3,5	2,1	4,9	2,9	4,3	2,6
500	2,8	1,7	3,9	2,3	3,4	2,1

Характер выполняемых работ. При работах, требующих большого напряжения и сопровождающихся значительными объемами легочной вентиляции, некоторые конструкции СИЗОД могут оказаться непригодными из-за резкого роста сопротивления дыханию. К примеру, пиковые объемы легочной вентиляции при тяжелой и очень тяжелой интенсивности работы составляют соответственно 200 и 250 л/мин, при этом начальное сопротивление дыханию респиратора по ГОСТ 12.4.041–89 определяется при расходе 30 л/мин, что не отражает реальной картины энергозатрат организма.

На рис. 4 приведены значения сопротивления дыханию для респираторов с двумя фильтрующими коробками (РПА-ТД, Пульс, Астра-2) с фильтрами, изготовленными из ФПП 15-1,5 и элефлена при различных расходах воздуха.

Метеорологические условия. Условия на рабочих местах существенно отличаются от стандартных ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 50\%$; $P = 101,1\text{ кПа}$), при которых проводят оценку качества респираторов согласно ГОСТ 12.4.041–89. В горных выработках температура воздуха — от 26 до 31 $^{\circ}\text{C}$, влажность 90–100% и высокое атмосферное давление.

Проведенные исследования (рис. 5 и 6) показывают, что повышение температуры и относительной влажности воздуха приводит к увеличению

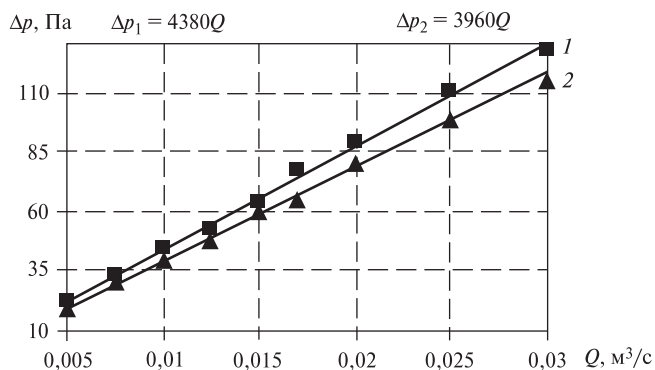


Рис. 4. Зависимость перепада давления на фильтрах респиратора (1) и респираторе РПА-ТД (2) от расхода воздуха

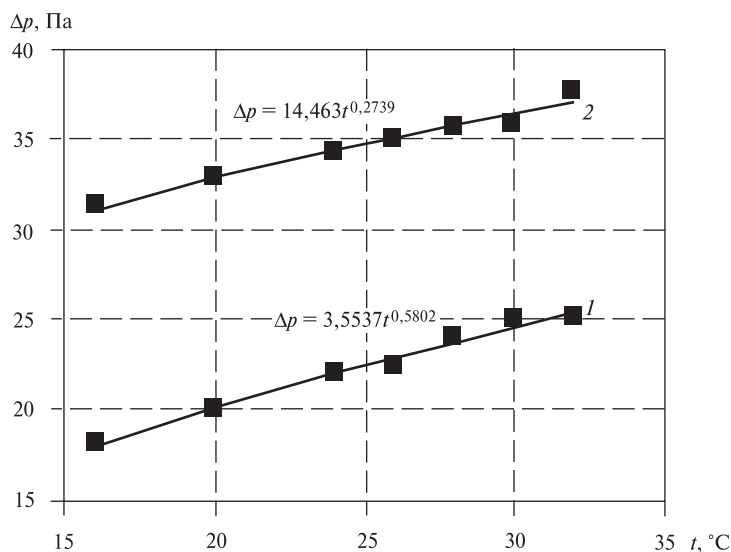


Рис. 5. Кривые зависимости перепада давления СИЗОД от температуры окружающей среды: 1 — фильтры из элефлена; 2 — фильтры из ФПП 15-1,5

перепада давления. Это объясняется тем, что сопротивление дыханию прямо пропорционально вязкости газа, которая меняется под действием температуры. Кроме того, влажный воздух, проходя сквозь фильтрующий материал, образывает на поверхности волокон тонкую пленку, которая со временем лопается, и в местах контакта скрещенных волокон появляются капли [7]. Они постепенно перекрывают поры фильтра, в результате чего возрастает сопротивление дыханию СИЗОД.

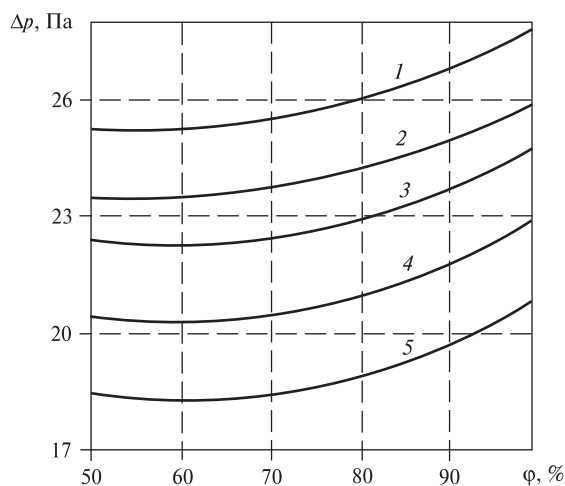


Рис. 6. Кривые зависимости перепада давления респираторов от влажности воздуха, который проходит сквозь фильтр при разной температуре окружающей среды, °С: 1 — 30; 2 — 26; 3 — 24; 4 — 20; 5 — 16

Дополнительный прирост к перепаду давления на СИЗОД можно учесть с помощью следующих коэффициентов: k_1 — дополнительный перепад давления, вызванный увеличением температуры; k_2 — дополнительный перепад давления, вызванный увеличением относительной влажности воздуха (определяются экспериментально для каждого типа фильтрующего респиратора) (табл. 5 и 6).

Таблица 5

Величина поправочного коэффициента на температуру

Температура, °С	+16	+20	+24	+28	+30
Коэффициент k_1	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2

Таблица 6

Величина поправочного коэффициента на влажность воздуха

Относительная влажность воздуха φ, %	Температура воздушного потока, °С				
	16	20	24	26	30
60	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
70	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
80	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
90	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
100	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4

Таким образом, при выборе респиратора необходимо учитывать целый ряд факторов, а не только его эффективность фильтрации и соответственный класс защиты. Если не принимать во внимание режим труда и климатические условия, это может очень сильно снизить защитные свойства даже высококачественного СИЗОД.

Как видим из приведенных исследований, очень важно не превысить рекомендуемое время эксплуатации фильтров, поскольку грязный фильтр характеризуется повышенным сопротивлением дыханию, увеличение которого приводит к появлению подсосов по полосе обтюрации. Кроме того, необходимо учитывать, что каждому типу респиратора соответствует свой тип фильтра, иначе можно ухудшить показатели последних. Особое внимание необходимо обращать на то, чтобы полумаска плотно прилегала к лицу, чтобы она соответствовала типоразмеру; чтобы конструкция респиратора обеспечивала минимальную «мертвую зону» в подмасочном пространстве и максимальную обзорность при выполнении работы.

Однако необходимо отметить, что даже в случае правильно подобранного респиратора нет стопроцентной гарантии защиты органов дыхания работающего от развития заболеваний, поскольку необходимо получить навыки работы с СИЗОД.

Литература

1. Каминский С. Л., Коробейникова А. В. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Выбор, применение, режим труда: Методические рекомендации. СПб.: Кримас+, 1999. 96 с.
2. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочное руководство / П. И. Басманов, С. Л. Каминский, А. В. Коробейникова, М. Е. Трубицына. СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002. 399 с.
3. Лепесток (Легкие респираторы) / И. В. Петрянов, В. С. Кошечев, П. И. Басманов и др. М.: Наука, 1984. 218 с.
4. Засоби індивідуального захисту органів дихання / В. І. Голінько, С. І. Чеберячко, Д. І. Радчук, Ю. І. Чеберячко. Днепропетровск: ЧП С. С. Федоренко, 2009. 93 с.
5. Чеберячко Ю. І. Оцінка впливу дисперсного складу пилу на захисну ефективність протипилових респіраторів // Науковий вісник НГУ. 2007. № 8. С. 72–74.
6. Анализ и оценка защитной эффективности фильтрующих респираторов / В. И. Голинько, С. И. Чеберячко, В. Е. Колесник, А. С. Ищенко // Науковий вісник. 2004. № 12. С. 33–36.
7. Голінько В. І., Чеберячко С. І., Чеберячко Ю. І. Застосування респіраторів на вугільних і гірничорудних підприємствах: Монографія. Д.: НГУ, 2008. 99 с.

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Аннотация. На примере строительства нового железнодорожного тоннеля на участке Армавир — Туапсе рассмотрены созданные условия световой среды и выработаны предложения по их улучшению с применением передовой техники и технологий при ведении горно-строительных работ.

Ключевые слова: освещение, светодиодные светильники, ультрафиолетовое излучение.

Summary. The light environment of industrial premises not only provides the ability to perform work duties, but is a factor in the high labor productivity and reduce injuries.

Keywords: lighting, LED lamps, cold light.

Свет — естественное условие существования человека — влияет на состояние высших психических функций и физиологические процессы в организме. Недостаточное освещение, чрезмерные световые контрасты вызывают напряжение зрения, чувство сонливости, снижение внимания и общее утомление, что негативно сказывается на работоспособности человека и производительности его труда.

Установлено большое влияние освещенности рабочих поверхностей на производительность труда. Так, увеличение освещенности в сборочных цехах с 200 до 800 лк и с 250 до 600 лк повышает производительность труда соответственно на 7,8 и 5,7%. Однако увеличение освещенности способствует повышению работоспособности даже в тех случаях, когда процесс труда практически не зависит от зрительного восприятия.

При плохом освещении человек быстро устает, работает менее продуктивно, возрастает потенциальная опасность ошибочных действий и несчастных случаев.

Согласно общим статистическим данным, до 5% травм можно объяснить недостаточным или нерациональным освещением, а в 20% оно способствовало возникновению травм.

Наконец, плохое освещение может привести к профессиональным заболеваниям.

Ведение горных работ при строительстве подземных сооружений неминуемо сопряжено с отсутствием естественного освещения. В таких условиях

на искусственное освещение ложится важнейшая функция обеспечения не только технической возможности организации труда наряду с системами вентиляции и контроля микроклимата, но и раскрытия психофизиологического потенциала человека [1]. Согласно СанПиН 2.2.2776–10 световая среда таких рабочих мест подземных горнорабочих соответствует классу вредности 3.2.

На примере строительства нового железнодорожного тоннеля западнее Навагинского тоннеля на участке Армавир — Туапсе, проводимого ЗАО УС «Южная горно-строительная компания», которое является примером применения передовой техники и технологий при ведении горно-строительных работ, рассмотрим созданные условия световой среды и выработаем предложения по их улучшению.

Сооружение тоннеля осуществляется способом нижнего уступа с разработкой калотты и штроссы комбайном АТМ-75. В 2010 г. на участке горно-капитальных работ проведена аттестация рабочих мест горнорабочих с общей оценкой класса условий труда 3.2 (вследствие отсутствия естественного освещения). Профилактического облучения рабочего персонала на производстве не проводится.

Применяемое освещение участка горно-капитальных работ в призабойном участке: светильник настенный ВЗГ с лампами ЛН60х1, ЛН100х1 и переносные светильники прожекторного типа ПКН с лампами ГЛН1000х1; всего источников света — 10; высота подвеса — 1,8–3 м. Если учитывать отсутствие опасности по газовому фактору на данном производственном объекте, то применяемые светильники не отвечают современным требованиям по потребляемой мощности, световому потоку, энергоэффективности и сроку службы.

Нормативные требования по минимальной освещенности рабочих мест соответствуют ГОСТ 12.1.046–85 «Работы по сооружению тоннелей, призабойный участок (буровзрывные работы и погрузка породы)». Таким образом, вертикальная освещенность должна быть не менее 30 лк (на уровне подошвы забоя, на поверхности разрабатываемой породы), однако при длине тоннеля свыше 150 м (что соответствует данным условиям) освещенность повышается до 50 лк, а горизонтальная — не менее 10 лк (на уровне головки рельса).

На основе требований нормативной документации был разработан проект замены устаревших светильников с лампами накаливания на новейшие светодиодные осветительные приборы. Результаты расчета рабочего освещения участка горно-капитальных работ в программе DIALux 4.10 приведены на рис. 1 (градации изолиний освещенности). Предложено к использованию 6 светодиодных светильников FACTORY C LED 48° для промышленного освещения и 2 светодиодных прожектора серии XLD FL 90. Выполненный экономический расчет проекта показал экономический эффект более чем в 380 000 руб. и срок окупаемости 2,2 года.

Однако нормализация световой среды является лишь частью решенной проблемы. Необходима выработка технических решений по приданию но-

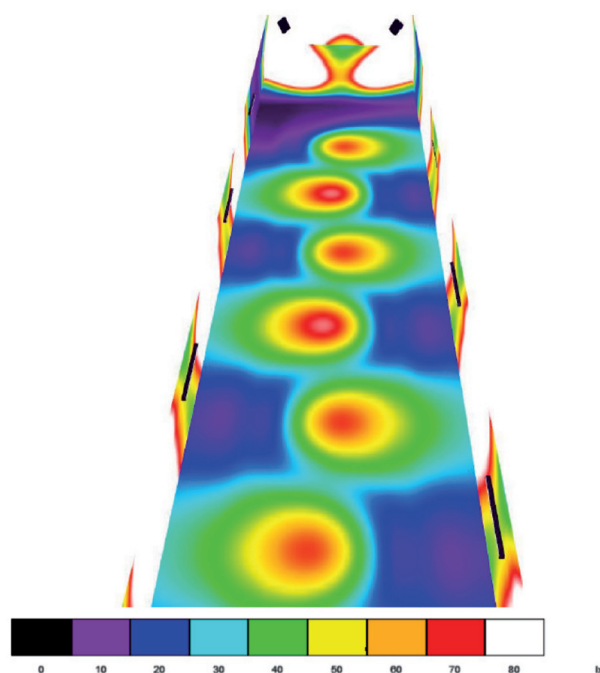


Рис. 1. Градация изолиний освещенности

вых свойств искусственному освещению за счет регулируемого облучения УФ-излучением. В общем, необходимо использовать новейшие технологии в области освещения, а именно светодиодные светильники специального назначения. Такой подход обеспечивает контролируемый по интенсивности УФ-излучения спектров *A*, *B* и *C* равномерный световой поток. Предлагаемое светотехническое решение «Окно в шахте» обеспечивает равномерное искусственное освещение рабочей поверхности, регулирует уровень УФ-излучения и создает благоприятную среду, снижающую психоэмоциональное напряжение при работе в замкнутых пространствах.

Решением является создание светодиодного светильника на основе искусственного окна в горной выработке (рис. 2). Основу светильника составляет фальшокно с картинкой уличного или природного пейзажа, подсвеченного светодиодами видимого спектра излучения. Компенсацию недостатка УФ-излучения предлагается обеспечить за счет светодиодов, содержащих кристалл нитрида галлия (GaN) в *A*-, *B*- и *C*-диапазонах.

Проведенные исследования по измерению интенсивности УФ(*A*)-, УФ(*B*)- и УФ(*C*)-диапазонов от обычного оконного проема позволяют судить о минимальных значениях, которые не оказывают какого-либо чувствительного воздействия на организм человека. Данные значения представлены в табл. 1.

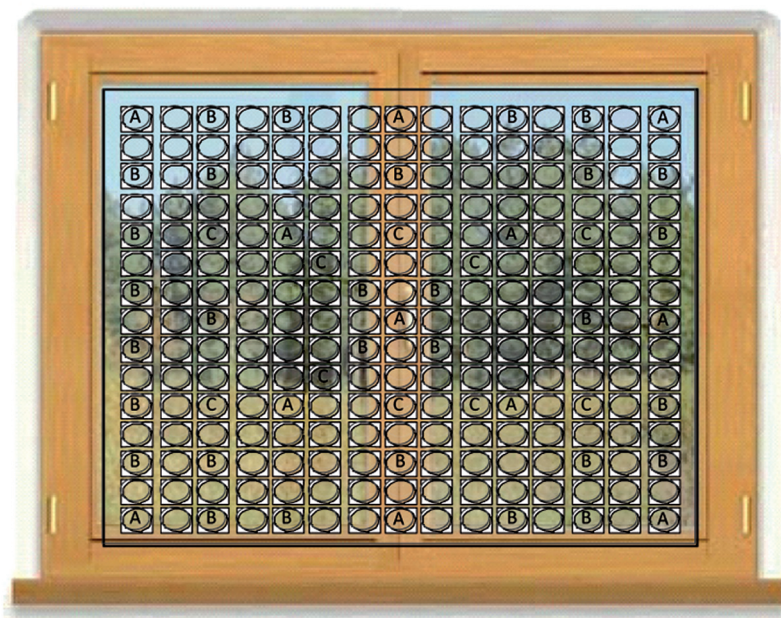


Рис. 2. Светильник совмещенного безэритемного ультрафиолетового (A, B, C) и видимого диапазонов

Таблица 1

Показатели естественного освещения внутри помещения

УФ-спектр, мВт/м ²			Освещенность, лк	Яркость, кд/м ²
A	B	C		
70,9	0,5	6,8	556,0	128,0
31,0	0,3	3,8	339,0	67,0
11,4	0,1	0,3	65,0	25,0

Максимальные значения предельно допустимого УФ-излучения определены по биологическому методу Горбачева — Дакфельда для чувствительной белой кожи при появлении кожной эритемы. На расстоянии 60 см от источника УФ-излучения биодоза соответствует интенсивности излучения:

- диапазон A — 17 мВт/м²;
- диапазон B — 10 мВт/м²;
- диапазон C — 620 мВт/м².

Сравнение полученных значений позволяет сделать вывод о диапазонах интенсивности излучения: УФ(A) соответствует естественному и искусственному излучению. УФ(B) естественного излучения в 1–2 раза ниже

искусственного. Существенно отличается искусственный УФ(С)-диапазон, который 100 раз превосходит естественный. Таким образом, основное внимание необходимо уделить нормированию УФ(С)-диапазона.

Допустимая интенсивность облучения работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи не более $0,2 \text{ м}^2$, периоде облучения до 5 мин, длительности пауз между ними не менее 30 мин и общей продолжительности воздействия за смену до 60 мин не должна превышать:

50,0 Вт/м² — для области УФ(А);

0,05 Вт/м² — для области УФ(В);

0,001 Вт/м² — для области УФ(С).

Таким образом, интенсивность УФ-спектра излучения безэритемного светильника должна изменяться в течение рабочей смены эквивалентно естественной активности светового дня в следующих диапазонах:

■ УФ(А): 10–1000 мВт/м²;

■ УФ(В): 0,5–5 мВт/м²;

■ УФ(С): не более 1 мВт/м².

Яркость поверхности светильника должна быть в пределах от 10 до 1000 кд/м².

Технические характеристики светильника и требования по безопасности должны соответствовать правилам безопасности объекта его размещения.

Проведение фонового УФ-облучения горнорабочих стимулирует функцию органов кровообращения, оказывает стимулирующее влияние на состояние иммунологических и защитных свойств организма, нормализует состояние симпатико-адреналовой системы и глюкокортикоидной функции надпочечников. Также УФ-облучения оказывают стимулирующее влияние на функцию щитовидной, половых желез. УФ-излучение непосредственно воздействует на нервные рецепторы, понижая их болевую чувствительность. Работами ряда исследователей установлено, что под влиянием УФ-облучений в сравнительно небольших дозах может наблюдаться повышение тонуса коры головного мозга. УФ-облучение широко рекомендуется в целях оздоровления и закаливания организма, повышения устойчивости к инфекциям (грипп и др.) и вредным воздействиям внешней среды.

Благодаря предлагаемому решению появляется возможность создания благоприятной производственной среды, повышающей психофизиологический потенциал человека, уровень работоспособности и снижающей уровень общей заболеваемости.

Литература

1. Никулин А. Н., Соловьев В. Б., Андреев Р. Е. Психофизиологические основы подготовки специалистов по технологической безопасности и горноспасательному делу // Труды НПС «Практическое использование программ поведения человека в кризисных ситуациях». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 64–68.

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ОТБОР КАК СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. В статье приведены критерии определения профессиональной пригодности и проведения профессионального отбора горнорабочих, а также рассмотрены особенности протекания посттравматического стрессового расстройства (ПТСР) у шахтеров, пострадавших в результате техногенной аварии.

Ключевые слова: профессиональный отбор, травматизм, психофизиологические и психологические качества человека, посттравматическое стрессовое расстройство.

Summary. The article describes the measures for occupational suitability definition and occupational test realization for mine workers, and also the specialties of posttraumatic stress-induced injury development for miners have been shown.

Keywords: occupational test, injuries, psychophysiology and psychological characters, posttraumatic stress-induced injury.

Анализ аварийности и травматизма на современных горных предприятиях показывает, что свыше половины несчастных случаев вызывается неправильными действиями работников, которые в той или иной степени связаны с нарушениями психофизиологических закономерностей их деятельности и поведения.

Длительная практическая деятельность людей свидетельствует о том, что лица, не обладающие достаточными способностями к данной профессии, не только значительно дольше других и с большими трудностями овладевают ею, но и работают хуже других: чаще допускают ошибки и просчеты, являются виновниками аварий, брака и несчастных случаев. Особенно это относится к труду человека в подземных условиях, характеризующихся повышенной сложностью и опасностью. Следовательно, в определенных случаях возникает необходимость определения профессиональной пригодности работников и проведения профессионального отбора по установленным критериям [1].

Определение профессиональной пригодности горнорабочих включает оценку уровня развития ряда физиологических, психофизиологических и психологических качеств.

Единственная сфера деятельности человека, где до начала его работы детально и комплексно исследуются психофизиологические возможности, является космонавтика, естественно требующая огромных расходов на диагностику состояния. Во всех остальных случаях оценка психофизиологического состояния потенциального работника практически остается в тени его профессиональной подготовки к выполнению профессиональных обязанностей, хотя достаточно много исследований посвящено проблеме профотбора [2, 3, 4].

Особенности труда в подземных условиях предъявляют повышенные требования к ряду психофизиологических и психологических качеств человека.

Оценка профпригодности осуществляется по ряду физиологических и психологических показателей. В процессе испытаний оценивается состояние сердечно-сосудистой системы (проба Мослера с задержкой дыхания и замером сдвигов артериального давления), физическая работоспособность, эмоционально-волевые характеристики. С помощью рефлексометров измеряется скорость простых и сложных реакций. Изучаются качества внимания (устойчивость и переключение), объем кратковременной памяти, свойства мышления, эмоциональная устойчивость и показатели психологической структуры личности (самостоятельность, рациональность, устойчивость и др.) [1].

Апробация описанных методов на шахтах показала высокую их надежность. Установлен большой процент отсева лиц, признанных в процессе испытаний профессионально непригодными. В процессе апробации методов профотбора было также установлено, что удельный вес профессионально непригодных работников по основным шахтным профессиям составляет 5–10% [1].

Исследованиями особенностей функционального состояния систем организма травмировавшихся рабочих старше 35 лет установлено, что с повышением возраста ухудшаются физиологические показатели некоторых функций, отнесенных к числу профессионально важных для обеспечения безаварийного труда. Таким образом, несмотря на приобретение рабочими с годами все большего профессионального опыта и знаний, вероятные возрастные и профессионально обусловленные изменения в их организме снижают надежность работы и увеличивают риск травмирования по их вине [5].

Наряду с указанным следует отметить, что с увеличением возраста у травмировавшихся рабочих более выражено снижение кистевой мышечной силы, у них уменьшается объем слуховой памяти, падает уровень стрессоустойчивости и еще более снижается слуховая чувствительность. Наблюдается также тенденция к все большему ухудшению координации движений

и статокINETической устойчивости вертикальной позы (направление «назад») [5].

Таким образом, особенности функционального состояния организма травмировавшихся рабочих по многим показателям проявляются независимо от возраста и соответственно стажа работы по профессии (для лиц в возрасте до 35 лет стаж работы — $4,7 \pm 0,4$ года, а для лиц старше 35 — $13,5 \pm 0,5$ года). Это касается скорости переключения внимания, тревожности, части параметров статокINETической устойчивости вертикальной позы, периферических границ поля зрения, направленности личности, уровня интеллектуального развития, а также характера изменений состояния сердечно-сосудистой системы при физических нагрузках.

Выявленная возрастная динамика состояния важных профессиональных функций позволила сделать вывод, что медицинское обследование рабочих по методам перспективного профосвидетельствования должно проводиться не только на стадии профотбора кандидатов, но и периодически в ходе трудовой деятельности: для лиц моложе 35 лет — через каждые 5 лет, а старше 35 лет — через 3 года работы по профессии [5].

Кроме того, для определения профпригодности работников горных предприятий представляют интерес исследования показателей функциональной асимметрии и психологических свойств шахтеров, пострадавших в результате техногенных аварий. Актуальность исследования определяется прежде всего тем, что посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР) развивается у 50–80% переживших тяжелый стресс, а при достаточно высокой интенсивности воздействия может развиваться практически у каждого человека. Развивающиеся в дальнейшем психические расстройства иногда значительно затрудняют социально-психологическую адаптацию пострадавших и существенно снижают их трудовую активность [6].

Особое место в ряду психофизиологических исследований занимает изучение взаимосвязи межполушарной функциональной асимметрии и динамики посттравматических стрессовых расстройств. Роль полушарий в процессе адаптации организма определяется их возможностями к варьированию способов решения задач, которые ставятся окружающей средой.

Исследованиями, проводимыми на выборке шахтеров Кузбасса, пострадавших в результате аварий, было показано наличие выраженных сдвигов ЦНС у 63,2% обследованных (уменьшение распространенности основного ритма, межполушарная асимметрия, наличие слабовыраженной связи нейроритмов и патологической активности) [6].

Объект исследования — 154 человека. Выборка была разделена на три группы (рис. 1). Возрастной диапазон обследованных — от 23 до 52 лет. Средний возраст обследуемых составил 37,5 лет (со средним, средним специальным и высшим образованием) [6].

На рис. 2 представлены результаты определения типа мануальной асимметрии по итогам применения комплекса диагностических методик. Методический инструментарий: опросник М. Аннет (модифицированный



Рис. 1. Распределение по группам исследуемых работников (объект исследования)

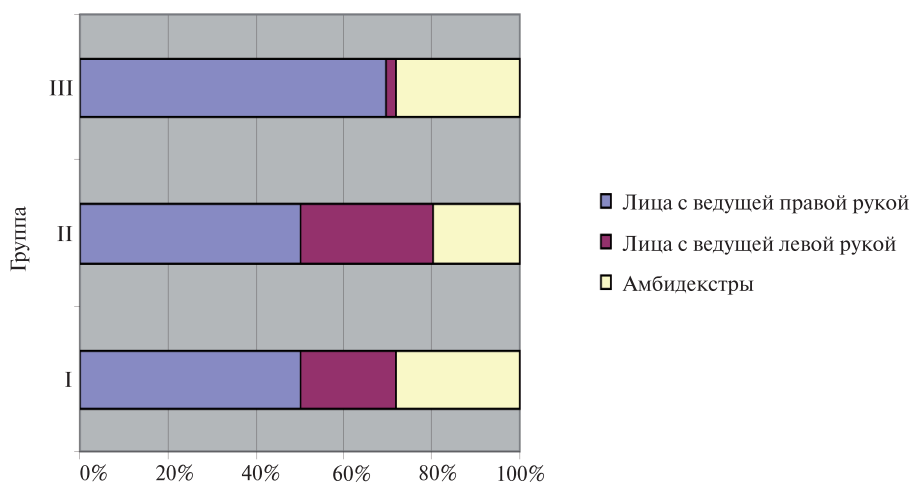


Рис. 2. Распределение в группах исследуемых лиц по типу мануальной асимметрии

вариант по А. И. Вассерману), теппинг-тест (бланковый вариант), моторные мануальные тесты, методика СМИЛ, методика Г. Айзенка, Миссисипская шкала для оценки посттравматических личностных нарушений, Шкала оценки влияния травматического события, Опросник для оценки личностной и ситуативной тревожности Спилберга — Ханина [6].

Исследования свидетельствуют об общем повышении уровня тревожности (реактивной и личностной) у шахтеров, пострадавших в результате техногенной аварии (в сравнении с другими группами обследованных), а также показывают, что наличие левосторонней мануальной асимметрии усугубляет тяжесть протекания посттравматического стрессового расстройства у этих шахтеров [6].

В настоящее время одним из наиболее неиспользуемых резервов повышения безаварийности труда является снижение травматизма, обусловлен-

ного человеческим фактором. Как известно, категория «личностный» или «человеческий» фактор травмирования характеризует комплекс индивидуальных (в том числе и физиологических) качеств человека, влияющих на безаварийность его труда в условиях того или иного производства.

Результаты изучения психофизиологических предпосылок, определяющих динамику и особенности протекания посттравматического стрессового расстройства (ПТСР) у шахтеров, пострадавших в результате техногенной аварии, должны найти применение при прогнозировании течения психических нарушений у лиц, подвергшихся воздействию сверхэкстремальных факторов, а также при подборе кадров для работы на горных предприятиях и в поисково-спасательной службе МЧС России.

Литература

1. *Глебова Е. В.* Профессиональный отбор операторов по добыче нефти / Е. В. Глебова, А. В. Кручинин, М. В. Иванова, А. В. Князева // *Безопасность труда в промышленности.* 2005. № 2. С. 36–38.
2. *Келлер А. А.* Физиологическое нормирование в трудовой деятельности / А. А. Келлер, В. С. Аверьянов. Л.: Наука. 1988. 156 с.
3. Рациональная организация добычи полезных ископаемых в карьерах со сложными условиями труда горнорабочих / А. П. Бульбашев, Н. А. Гаспарьян, С. В. Ковшов и др. — СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2009. 464 с.
4. *Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / К. З. Ушаков, Н. О. Каледина, Б. Ф. Кирин и др.* М.: Изд-во МГГУ, 2000. 430 с.
5. Электронный ресурс: <http://www.dissercat.com/>
6. Электронный ресурс: <http://nauka-pedagogika.com/>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ОХРАНУ ТРУДА НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ СЕВЕРА

Аннотация. Разработаны методические основы расчета оптимальных экономических затрат на охрану труда на горном предприятии по фактору «текучесть кадров». В работе представлен пример расчета оптимальных затрат на условном предприятии, проведена оценка риска для предприятия при фиксированных затратах.

Ключевые слова: оптимальные затраты, текучесть кадров, оценка риска.

Summary. Were developed the methodical basis of optimal economic costs for labor protection for a mining factor «high personnel turnover». In work presents an example of optimum cost conventional plant in graphical-analytical form, the risk assessment for the company at a fixed cost.

Keywords: optimal cost, high personnel turnover, risk assessment.

В настоящее время существует множество подходов к созданию системы безопасности, снижению риска травматизма, заболеваемости, аварий и катастроф на горных предприятиях Севера, работающих в сложных горно-геологических и климатических условиях. В то же время известно, что абсолютно безопасных производств не существует. Система «человек — техника — производственная среда» всегда уязвима, а в северных регионах особенно [1, 2, 3]. Причем самым опасным звеном является человек (более 60% всех техногенных аварий и катастроф имеют человеческую природу). Поэтому главное внимание должно уделяться охране труда на предприятии.

Обычно уровень вложения средств по статье расходов «охрана труда» нормируется отраслевыми стандартами. Однако они определяют только нижнюю границу, которой и придерживаются предприятия с целью повышения прибыли. При этом другие факторы, влияющие на рентабельность и тесно связанные с безопасностью ведения работ, не рассматривают. По нашему мнению, необходимо определять не только нижнюю границу, но и оптимальное значение затрат, которое будет складываться из системного

анализа всех факторов, оказывающих влияние на эффективность производственного процесса. Одним из таких факторов является текучесть кадров.

Многие исследователи отмечают влияние фактора «текучесть кадров» на безопасность технологических процессов и производств, при этом методики количественной оценки влияния этого фактора в литературных источниках не обнаружено. Поэтому целью работы являлась разработка методических основ выбора оптимальных экономических затрат на охрану труда на горном предприятии по фактору «текучесть кадров».

Известно, что 80% случаев травматизма вызваны недостатками в организации работ, т.е. несовершенством систем управления охраной труда и промышленной безопасностью [4].

Методология анализа риска в мире достаточно развита. Особенно это касается объектов и производств как составной части промышленной безопасности. А вот применение этой методологии для анализа систем управления требует дальнейших разработок. Анализ риска является здесь ключевым элементом. Это эффективная инженерная мера, с помощью которой можно усовершенствовать систему и добиться снижения аварийности и травматизма. Анализ риска в системе управления промышленной безопасностью позволяет решить принципиальный вопрос о соотношении реального и приемлемого уровней опасности объекта, а также обосновать экономическую эффективность предлагаемых мер для повышения его технической и производственной безопасности [5].

Дальнейшее развитие сферы промышленной безопасности связано прежде всего с совершенствованием систем управления. Расчеты по оценке оптимальных затрат на охрану труда на горном предприятии проводятся путем сравнения расчетных величин капиталовложений на охрану труда со снижением риска увеличения исследуемого фактора [6].

Определение расчетных величин затрат на охрану труда на конкретном горном предприятии должно осуществляться на основании [7]:

- а) анализа статистических данных о производственном травматизме на предприятии (число человек со средней и тяжелой степенью травм);
- б) анализа статистических данных о текучести кадров;
- в) определения зависимости снижения травматизма на предприятии от количества инвестируемых средств на охрану труда;
- г) определения зависимости текучести кадров из-за социальной напряженности от количества инвестируемых средств;
- д) определения оптимальных затрат на охрану труда на предприятии;
- е) определения значения риска, соответствующего оптимальным затратам;
- ж) определения оптимальных затрат на охрану труда для достижения приемлемого риска, приемлемого риска при детальном обосновании, приемлемого риска при определенных обстоятельствах.

По предложенному алгоритму была разработана методика выбора оптимальных значений затрат на повышение безопасности работ, позволя-

ющая количественно оценить существующие риски на конкретном предприятии.

Рассмотрим пример использования методики для условного горнодобывающего предприятия. Анализ статистики за 10 лет на предприятиях отрасли показал снижение травматизма на предприятии (N_1) в зависимости от количества инвестируемых средств и увеличения количества уволившихся (N_2 — фактор «текучесть кадров») из-за возникающей социальной напряженности. Целевая функция, подлежащая исследованию на оптимум, представляет сумму слагаемых N_1 и N_2 и имеет следующий вид:

$$N_1 + N_2 = 432,17 - 58,43 \ln Z + 1,83 \cdot 10^{-4} Z^2.$$

Исследование на \min (продифференцируем это выражение и приравняем производную к нулю) позволило получить результат, который соответствует оптимуму целевой функции, т.е. $Z = 399,6$ у.е. — оптимальное количество затрат на охрану труда. На графике, представленном на рис. 1, показана зависимость уровня травматизма и текучести кадров от затрат на охрану труда на предприятии.

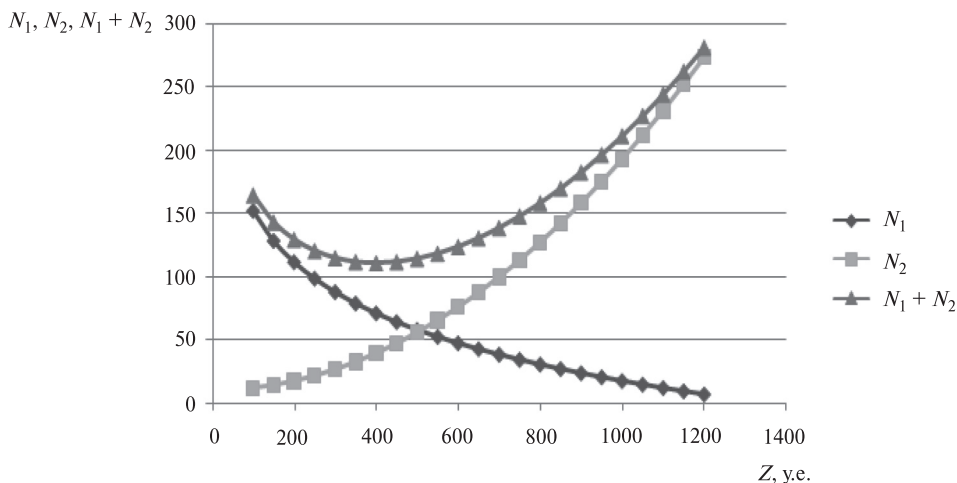


Рис. 1. Изменение составляющих и собственно целевой функции в зависимости от затрат на охрану труда на предприятии

Графическая интерпретация расчетных данных позволяет определить значение риска при оптимальных затратах на охрану труда на данном предприятии.

Согласно графику на рис. 2 при увеличении затрат на охрану труда происходит снижение риска.

С помощью графика можно определить оптимальное значение затрат на охрану труда для обеспечения допустимого значения риска, а также решить обратную задачу — при фиксированных затратах найти соответствующее значение риска.

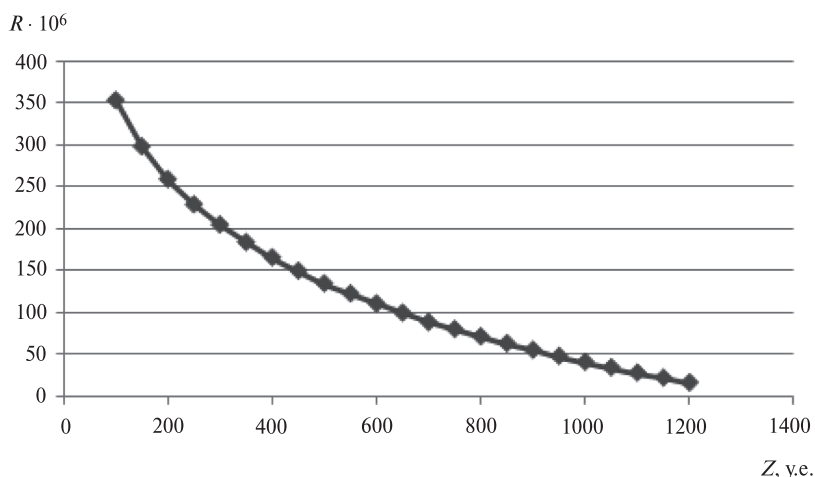


Рис. 2. Зависимость риска от объема инвестиций

Настоящий пример расчета показывает, что предлагаемый подход является рациональным и позволяет достичь поставленной цели.

По результатам исследований можно сделать вывод, что для предприятий горного профиля простое увеличение средств в сферу совершенствования систем управления охраной труда и промышленной безопасностью для уменьшения количества случаев травматизма не всегда приводит к желаемому результату.

С одной стороны, повышаются технические системы безопасности, но с другой — увеличивается показатель «текучесть кадров», что приводит к недостаточному уровню квалификационного состава и необходимого опыта работников. Последнее, как известно, во многом является определяющим фактором в показателях травматизма на горных предприятиях Севера. Необходимо вести системную работу по анализу рисков на предприятиях в целях управления промышленной безопасностью, в том числе и с учетом представленного методологического подхода.

Литература

1. Галкин А. Ф., Хусаинова Р. Г. Оценка и ранжирование неблагоприятных производственных факторов на нефтегазовом предприятии Севера // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 6. С. 637–641.
2. Галкин А. Ф., Хусаинова Р. Г. Влияние температурного фактора на травматизм горнорабочих // *Справочник специалиста по охране труда*. 2012. № 8. С. 48–51.
3. Галкин А. Ф. Повышение надежности работы машин и механизмов в подземных сооружениях криолитозоны // *Записки Горного института*. Т. 178. СПб.: СПГИ(ТУ), 2008. С. 207–209.

4. Лисанов М. В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 5. С. 11–14.

5. Прусенко Б. Е., Козлов М. М. Роль лидерства и поведения людей в процессе управления охраной труда и промышленной безопасностью на предприятиях нефтегазовой отрасли // Нефть, газ и бизнес. 2005. № 7. С. 44–50.

6. Мартынюк В. Ф. Совершенствование методической базы анализа риска ОПО // Берг-коллегия. 2010. № 4. С. 21–25.

7. Галкин А. Ф. Надежность технических систем и техногенный риск. Методические указания для выполнения курсовой работы. СПб.: Изд-во СПГГИ(ТУ), 2010. 11 с.

УДК 612.766.1; 612.825.8

М. А. ШАНСКОВ,
канд. биол. наук,
доц. каф. безопасности производств
(Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ОЦЕНКЕ ТЯЖЕСТИ ТРУДА ШАХТЕРА

Аннотация. В статье рассматриваются методические аспекты использования физиологических показателей в оценке тяжести труда шахтера. Показано значение сердечного ритма, насыщения крови кислородом в исследовании функционального состояния организма горняков. Рассмотрены гипоксемические состояния с применением модельных анаэробных и аэробных физических нагрузок.

Ключевые слова: гипоксемия, парциальное давление кислорода, сердечный ритм.

Summary. The article deals with the methodological aspects of the use of physiological indicators to assess the severity of the miners, shows the importance of heart rate, oxygen saturation in the study of the functional state of the miners. Considered hypoxemic state model using anaerobic and aerobic exercise.

Keywords: hypoxemia, oxygen partial pressure, heart rate.

Основными гигиеническими особенностями условий труда в шахтах являются: изоляция от дневной поверхности, неблагоприятный микроклимат (влажный нагревающий), измененный газовый состав воздуха, повышенное барометрическое давление и др. Мониторинг текущего функционального состояния должен выявлять негативные изменения в работе основных систем организма шахтера и служить основой для оптимизации шахтерского труда.

Анализ публикаций в отечественной литературе по медико-биологическим аспектам труда шахтеров за последние 10 лет показал следующее: 70% всех публикаций посвящены вопросам профессиональной патологии, 15% работ уделяют внимание физиологии труда, 10% — питанию и 5% — травматизму. Данное положение свидетельствует о том, что современные исследователи фактически констатируют существующее положение с состоянием здоровья горняков, а не работают на опережение исходя из изменившихся условий труда, технического оснащения и состояния здоровья молодежи. С 1985 г. на 2,5–4 кг снизился среднепопуляционный показатель

массы тела подростков 15 лет; на 1,5 см уменьшился рост и на 5–9 см — окружность грудной клетки. На 3–5 кг снизились и силовые возможности подростков (по показателям кистевой динамометрии). Все это требует новых подходов при рационализации трудовой деятельности горняков.

В настоящей статье мы хотели бы затронуть методические аспекты использования физиологических показателей в оценке тяжести труда шахтеров. На наш взгляд, применяемые в физиологии труда шахтера методики в современных условиях должны отвечать следующим требованиям:

- 1) минимальное количество используемых показателей и датчиков;
- 2) легкость установки и съема аппаратуры;
- 3) максимальная информативность поступающей информации;
- 4) наличие репрезентативных популяционных норм (модельных характеристик);
- 5) апробированные алгоритмы оценивания и представления результатов тестирования;
- 6) надежность, безопасность и технологичность в эксплуатации.

К числу физиологических показателей, обеспечивающих большую информативность для оценки состояния организма, можно отнести сердечный ритм и насыщение крови кислородом. Вариационный анализ сердечного ритма способен дать информацию об изменениях функционального состояния в динамике, выявлять патологические состояния, адаптационные резервы организма. Частота сердечных сокращений в процессе работы в условиях нагревающего климата может достигать 150–180 уд./мин, что является предельным для физиологии труда. Следует отметить, что на частоту и ритм сердечных сокращений могут влиять эмоции, информационные перегрузки, раздражение вестибулярного анализатора и т.д. Поэтому сердечный ритм не может полностью отражать влияние выполняемой работы на организм шахтера.

Двигательная деятельность может приводить к появлению гипоксемических состояний, причем как при интенсивных, так и при небольших по мощности физических нагрузках. При этом отмечается снижение парциального давления кислорода и повышение парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе, что может быть обусловлено задержками дыхания и поздно-респираторными реакциями. Парциальное давление кислорода при этом достигает 80–85 мм рт. ст. В обычных условиях снижение парциального давления кислорода практически не сказывается на насыщении крови кислородом благодаря S-образной форме кривой диссоциации гемоглобина. Однако комбинированное сочетание таких факторов, как повышенная температура, снижение рН (эффект Бора), увеличение парциального напряжения углекислого газа, будет приводить к сдвигу кривой диссоциации гемоглобина вправо. Снижение насыщения гемоглобина кислородом в артериальной крови при этом может достигать 80–85% против 97% в состоянии покоя. На рис. 1 показаны изменения на-

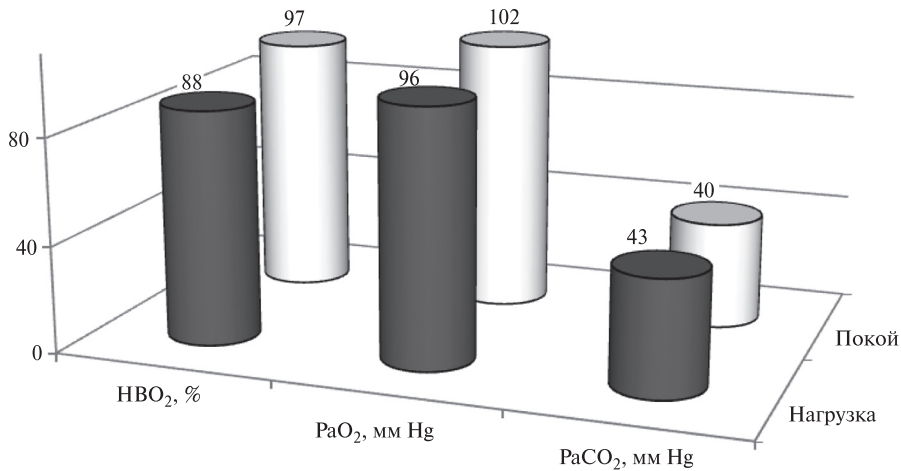


Рис. 1. Изменения насыщения крови кислородом (HbO₂), парциального давления кислорода (PaO₂) и углекислого газа (PaCO₂) в альвеолярном воздухе у человека под влиянием физической нагрузки ($n = 10$)

сыщения крови кислородом и парциального давления кислорода и углекислого газа в ходе выполнения модельной физической нагрузки анаэробного характера.

Обращает на себя внимание тот факт, что при небольших изменениях парциальных давлений кислорода и углекислого газа отмечается выраженное снижение насыщения крови кислородом. Возможно, это проявление эффекта Бора вследствие появления в крови испытуемых молочной кислоты при интенсивной нагрузке. Кстати, аналогичные результаты были получены в классическом исследовании L. V. Rowell et al. [3] при выполнении испытуемыми интенсивной трехминутной нагрузки на тредбане. Причем в отличие от наших исследований, в которых насыщение крови определялось оксигемометром (бескровно), данные американских исследователей получены при катетеризации брюшной аорты. В таких условиях повышается вероятность возникновения кислородного голодания мозга, что представляет опасность для выполнения основных трудовых процессов, их точности, своевременности принятия решений. Повышенное барометрическое давление даже в глубоких шахтах не способно компенсировать эти сдвиги кислородных режимов организма шахтера.

На рис. 2 показаны результаты исследования энерготрат (ЭТ), альвеолярного воздуха и частоты сердечных сокращений (ЧСС) при выполнении испытуемыми длительной физической нагрузки аэробного характера.

Характер физиологических сдвигов по ЧСС и ЭТ весьма близок к сдвигам, полученным в процессе труда шахтера. Что касается изменений состава

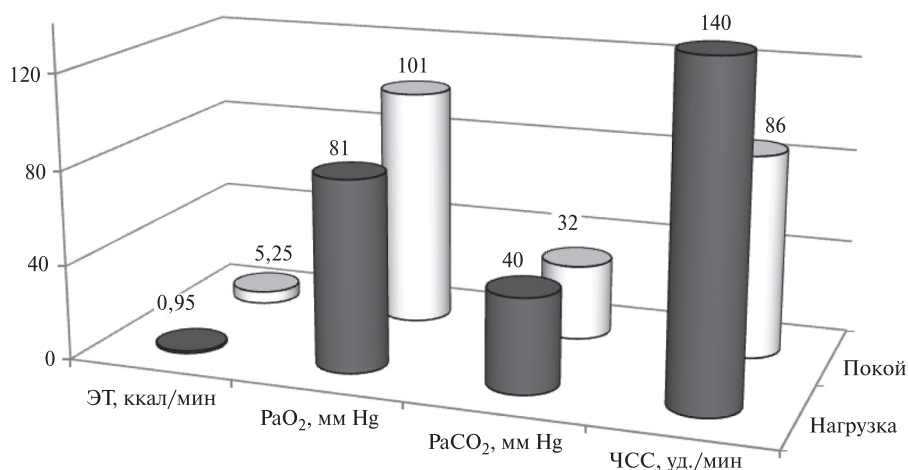


Рис. 2. Изменения энерготрат (ЭТ), парциального давления кислорода (PaO₂) и углекислого газа (PaCO₂) в альвеолярном воздухе и частоты сердечных сокращений (ЧСС) у человека под влиянием физической нагрузки ($n = 12$)

ва альвеолярного воздуха, то и при данной умеренной нагрузке они достаточно выражены.


В исследованиях ученых из Казахстана [1] в условиях терапевтического отделения было обследовано 62 больных с хроническим бронхитом от воздействия угольно-породной пыли. Были выявлены три группы в зависимости от степени гипоксемии: 1-я группа — 15 больных с нормальным напряжением кислорода в крови (PaO₂ более 80 мм рт. ст.); 2-ю группу составили 28 больных с умеренной гипоксемией (60–79 мм рт. ст.); 3-я группа — 19 больных с резким снижением PaO₂ (ниже 60 мм рт. ст.). Следовательно, хронические пылевые заболевания легких в настоящее время являются одной из больших медицинских и социально значимых проблем.

Анализ литературных данных показывает, что при контакте пылевой частицы с мембраной фагоцита существенно повышается уровень потребления кислорода клеткой. И практически весь дополнительно поглощенный кислород не используется ни на энергетические, ни на пластические потребности клетки. Как считают Д. В. Фоменко с соавторами [2], достоверный рост количества эритроцитов и соответственно гемоглобина в крови — попытка организма справиться с недостаточностью кислорода. Запыленная легочная ткань, будучи не в состоянии захватить необходимое количество кислорода, пытается компенсировать его недостаток увеличением числа эритроцитов, транспортирующих кислород.

Таким образом, спектр методических проблем, лежащих в сфере физиологии труда шахтеров, требует своевременного и адекватного решения.

Литература

1. *Аманбекова А. У.* Изучение взаимоотношений показателей гемодинамики и степени оксигенации у больных с хроническим пылевым бронхитом / А. У. Аманбекова, Ж. Ш. Ешмагамбетова, С. М. Бекпосынова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2005. № 8 (46). С. 91–93
2. *Фоменко Д. В.* Медико-биологические исследования профессиональной патологии органов дыхания у шахтеров / Д. В. Фоменко, К. Г. Громов, П. В. Золоева, Н. Н. Михайлова // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2007. № 25. С. 67–71.
3. *Rowell L. B.* Saturation of arterial blood with oxygen during maximal exercise / L. B. Rowell, H. L. Taylor, Y. Wang and W. S. Carlson // *J. Appl. Physiol.* 1964. March 1. 19 : 284–286.



СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ВЫВАЛООБРАЗОВАНИЙ В ЛАВАХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

Аннотация. Установлено влияние технологических процессов в лаве на характер проявления горного давления. Определены места расположения и параметры вывалообразований. Даны рекомендации по переходу вывалообразований в лавах пологих пластов.

Ключевые слова: технологические процессы, горное давление, вывалообразования.

Summary. Influence of technological processes in a lava on nature of manifestation of mountain pressure is established. The location and parameters of roof fall are defined. Recommendations about transition of roof fall in lavas of flat layers are made.

Keywords: technical process, lithologic pressure, cavings.

На эффективную работу очистных забоев влияет ряд факторов. Одним из важнейших факторов, влияющих отрицательно на работу очистных забоев, является геологическая нарушенность пласта. В среднем по горно-геологическим причинам происходит 5,4 простоя в месяц. Максимальное число случаев остановок (75,2%) по этим причинам обусловлено геологическими нарушениями [1, 2]. К геологическим нарушениям, влияющим отрицательно на работу очистных комплексов, относятся не только нарушения, связанные со смещениями или другими изменениями пласта, но и зоны выемочных участков со слабыми неустойчивыми кровлями, как правило, склонные к обрушению вслед за выемкой угля.

Ухудшение работы очистных забоев, оборудованных комплексами на участках с неустойчивыми кровлями, связано с вывалами пород кровли. В местах вывалов образуются полости, которые обычно закладываются деревянными кострами.

При работе лав в зонах с неустойчивыми породами предпринимаются различные мероприятия, обеспечивающие работу очистных забоев. Эти мероприятия по используемым средствам можно условно разделить на две группы:

1) мероприятия, связанные с использованием дополнительной крепи и изменением технологии очистных работ;

2) мероприятия по химическому укреплению легкообрушающихся пород кровли.

Для улучшения работы механизированных комплексов в зонах с неустойчивыми кровлями применяют опережающую крепь, затяжку кровли и передвижку секций крепи в шахматном порядке, изменяют конструкцию верхняков секций, уменьшают ширину захвата исполнительного органа комбайна.

В большинстве случаев существующие конструкции агрегатных и индивидуальных крепей не позволяют предотвратить обрушение пород кровли в очистных забоях сразу же после прохода выемочного механизма. Укрепление слабых пород анкерами (механический способ), цементацией, силикатизацией, замораживанием и синтетическими смолами (физико-химический способ) уже давно применяется при проведении горных выработок. Попытки использовать эти способы (например, анкерный, нагнетание скрепляющих составов на основе цемента и других минеральных вяжущих составов) в очистных забоях удовлетворительных результатов не дали. Упрочнение химическим анкерованием эффективно для пород кровли, у которых при обрушении преобладают куски размерами в пределах 10–50 см. При кусковатости менее 10 см эффективность резко снижается, а при кусковатости более 50 см породы могут удерживаться и другими, более дешевыми способами (например, анкерами с механическим закреплением или штырями).

Существенное влияние на устойчивость пород непосредственной кровли оказывает эксплуатационная трещиноватость [3].

С точки зрения технологических задач важно различать естественную и эксплуатационную трещиноватость. Естественные трещины являются объективным фактором, который должен учитываться при установлении порядка ведения горных работ. Эксплуатационная трещиноватость сама является следствием ведения горных работ, поэтому появляется возможность путем изменения тех или иных технологических решений или же проведением специальных технических мероприятий менять характер этой трещиноватости.

Наличие трещин давления в пределах призабойного пространства усложняет ведение очистных работ, способствует вывалообразованиям, а иногда и завалам лав.

Известно, что в момент выемки угля комбайнами происходит перераспределение первоначального напряженного состояния пород кровли с последующими их деформациями и разрушениями в выработанном пространстве. Интенсивность трещиноватости находится в прямой зависимости от величины напряжения в краевой зоне. Характер и величина напряжений в породах непосредственной кровли при прочих равных условиях зависят от реакции пласта, которая изменяется в течение времени.

Процесс изменения реакции пласта во времени четко прослеживается во время выемки угля комбайном. На рис. 1 приведен характерный график

влияния процесса выемки угля на деформацию шпура в 7-й восточной лаве пласта K_2 производственного объединения «Шахтерскантрацит».

Методика исследования НДС пород непосредственной кровли заключалась в измерении изменения сечения шпура, а также в наблюдении за состоянием стенок шпура с помощью прибора РВП. С этой целью бурились два шпура в кровле на расстоянии 1 м друг от друга под углом к напластованию $5-8^\circ$, диаметром 42 мм и длиной 2–2,5 м. В один из шпуров закладывался прибор ДДШ (конструкция прибора показана на рис. 1), а другой шпур служил для наблюдения за состоянием стенок шпура с помощью прибора РВП.

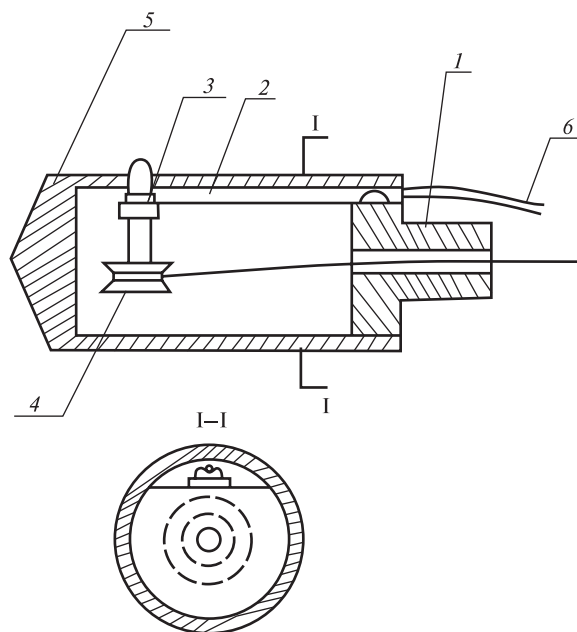


Рис. 1. Конструкция деформометра:

1 — корпус; 2 — стальная балочка с тензодатчиками;
3 — втулка с резьбой; 4 — шкив; 5 — стакан; 6 — кабель к тензостанции

По мере подвигания лавы изменялся характер НДС кровли, что выразилось в изменении сечения шпура (рис. 2). Опорные элементы прибора располагались таким образом, чтобы база измерений находилась в вертикальной плоскости. Измерения начинались в момент закладки прибора и заканчивались после подвигания лавы на 2–4 м.

При изменениях деформации пород кровли в момент прохода комбайном места наблюдательной станции отмечено резкое сжатие шпура, а затем такое же быстрое расширение (восстановление). Пиковое значение деформаций стенок шпура в момент нахождения комбайна в створе с местом установления деформометров достигает в некоторых случаях 30–40%

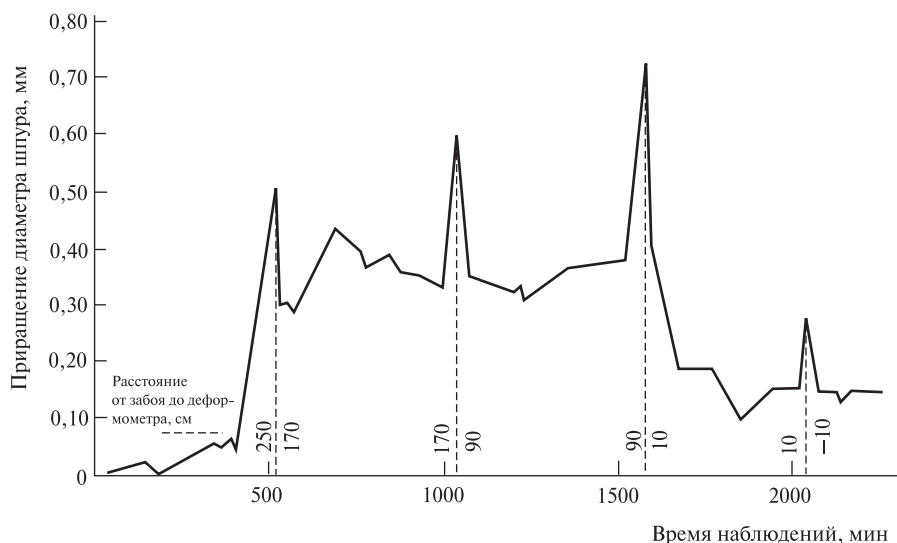


Рис. 2. Влияние процесса выемки угля на деформацию шпура в очистном забое

от значений, когда комбайн удален от места наблюдательной станции на 40–50 м.

Процесс этот протекает во времени, причем начальная его фаза кратковременна и занимает 15–20 мин. Наличие пиковых деформаций на рис. 2 свидетельствует о том, что нижние слои непосредственной кровли испытывают значительную пригрузку со стороны вышележащих пород. При обследовании стенок второго шпура, пробуренного параллельно первому, с помощью прибора РВП была обнаружена трещина, которая находилась в 1,5 м от устья шпура. Установлено, что трещины давления возникают впереди очистного забоя после перехода комбайном наблюдательного створа.

Исследования показывают, что во время выемки угля интенсивность опускания кровли в плоскости напластования и по нормали к пласту на определенном расстоянии от режущего органа машины повышается.

На основании проведенных исследований выявлен характер зависимости частоты η вывалов от расстояния L до комбайна (рис. 3). Количество вывалов уменьшается по мере удаления комбайна от места наблюдательной станции. Наибольшее количество вывалов — более 30% — происходит высотой $h = 0,4$ м, а вывалы высотой от 0,2 до 1,0 м составляют 87% от их общего количества (см. рис. 3а).

Максимальное количество вывалов (45%) происходит между козырьком крепи и линией очистного забоя. Распределение вывалов по ширине l призабойного пространства представлено на рис. 3в.

О. Якоби [4] отмечает, что при узкой полости вывала с крутыми стенками и небольшой ее протяженности по простиранию хорошо зарекомендовал

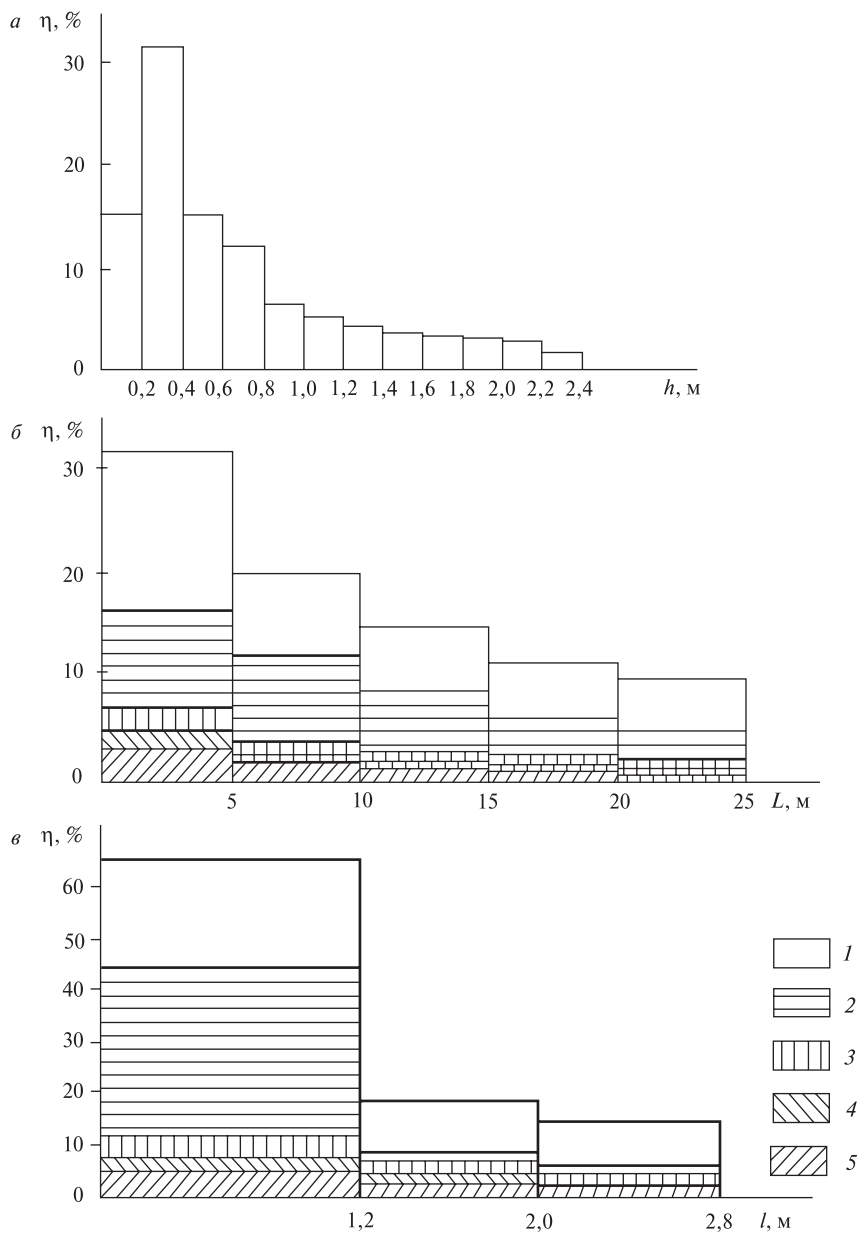


Рис. 3. Распределение вывалов в призабойном пространстве:
 а — по высоте; б — в зависимости от расстояния до комбайна; в — по ширине призабойного пространства:
 1 — общая; 2 — для аргиллитов; 3 — для алевролитов; 4 — для песчаников; 5 — для известняков

себя способ укрепления забоя деревянными анкерами, цементируемыми полимерной смолой, и упрочнения кровли полиуретаном.

В Германии для перехода вывалообразования по пласту «Вассерфаль» мощностью 2,8 м были использованы тканевые и пленочные рукава (типа «Буллфлекс» и «Монтанпласт») [4].

Схема заполнения полости вывала пенопластом показана на рис. 4.

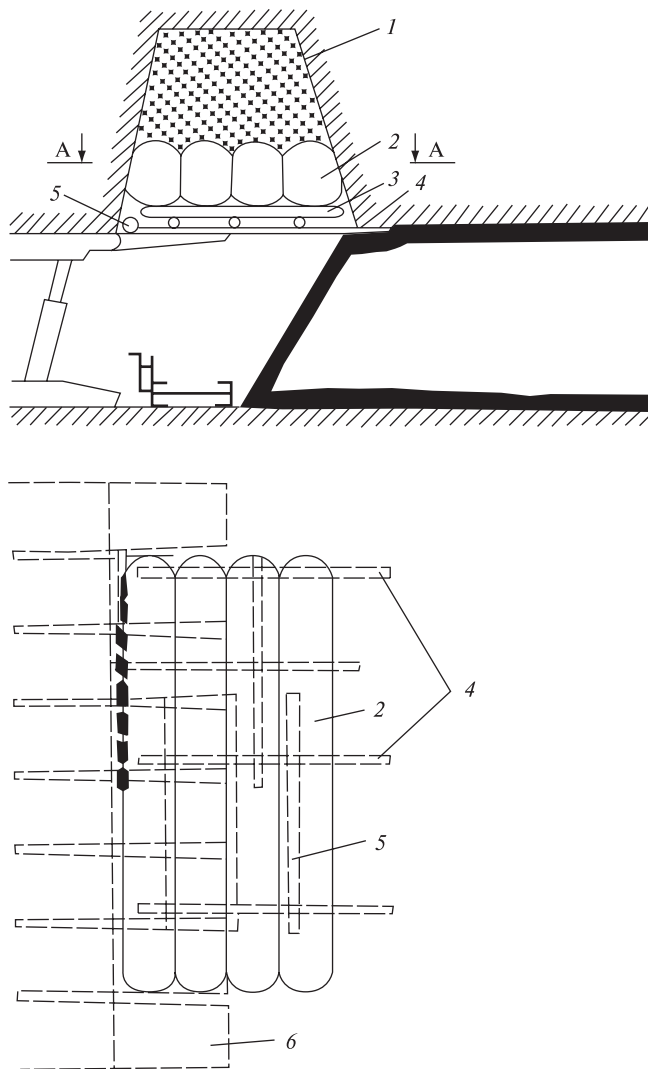


Рис. 4. Схема заполнения полости вывала пенопластом по пласту «Вассерфаль»:
 1 — пенопласт; 2 — рукав; 3 — бревна; 4 — рельсы; 5 — труба;
 6 — выдвигающая консоль перекрытия крепи

Сущность данного способа заключается в следующем: под вывалом было установлено перекрытие из четырех отрезков рельсов длиной по 3,5 м (один конец каждого рельса вводили в скважину на глубину 80 см, а другой — на выдвигную консоль секции щитовой крепи).

После этого на перекрытия укладывались тканевые или пленочные рукава. Рукава заполняли пенопластом (время заполнения каждого рукава составляло 30–45 мин). После этого пенопластом заполняли полость вывала над рукавами (время заполнения — около 4 ч). Автор [4] отмечает, что выемка угля за полостью вывала и передвижка крепи не вызвали особых осложнений. Небольшой распор стенок полости вывала пенопластом, имевший предел прочности на сжатие всего лишь около 30 кПа, оказался достаточным для предотвращения дальнейшего обрушения пород.

К недостатку указанного способа перехода вывалообразований следует отнести:

- большую трудоемкость по бурению скважин впереди линии очистного забоя с установкой отрезков рельс в скважину;
- большую длительность заполнения пенопластом полости вывала.

СПГГИ (ТУ) разработан [5] способ перехода вывалообразований в лавах пологих пластов, который заключается в следующем (рис. 5): в исходном положении (до выемки полосы угля) козырек 1 механизированной крепи 2 находится от линии очистного забоя 3 на расстоянии, равном 0,2–0,3 м.

В условиях естественной и эксплуатационной трещиноватости пород непосредственной кровли после выемки полосы угля на шаг заходки (как правило, равный 0,63 м) расстояние между козырьком 1 механизированной крепи 2 и линией очистного забоя 3 увеличивается на шаг заходки, что зачастую приводит к вывалообразованиям, т.е. образованию вывального пространства 4 (см. рис. 5а). Несвоевременная борьба с вывалообразованиями может привести к завалам лав, что происходило в условиях ПО «Шахтерскантрацит».

После остановки очистного забоя, уборки породы, обрушившейся из вывального пространства, скребковый конвейер 5 задвигают к линии очистного забоя 3, устанавливая под вывальным пространством 4 индивидуальные стойки 6 с коробчатым перекрытием 7, внутри которого укладывают мягкую оболочку 8, причем индивидуальные стойки 6 устанавливают в створе между секционными зазорами 9 механизированной крепи 2. При этом высота h_0 мягкой оболочки 8 в сложенном состоянии принимается меньше высоты h_n полки 10 коробчатого перекрытия 7, а его длину принимают равной или кратной ширине секций механизированной крепи B_c или выбирают из соотношения: $B_n = n_c \times B_c + (n_c - 1) B_3 + 2d$, причем при

$$l_B \leq B_c \quad n_c = 1; \text{ а при } l_B > B_c \quad n_c = \frac{l_B}{B_c + B_3} + 1,$$

где B_n — длина короба, м;
 n_c — число секций, попавших в створ с вывалом (целое число);
 B_c — ширина секции крепи, м;
 B_3 — зазор между секциями крепи, м;
 d — диаметр индивидуальной стойки, м;
 l_b — размер вывала по длине очистного забоя, м.

В качестве индивидуальных стоек могут быть приняты деревянные стойки, стойки трения или гидравлические стойки. После установки коробчатого перекрытия 7 с мягкой оболочкой 8 под вывалом в нее подают

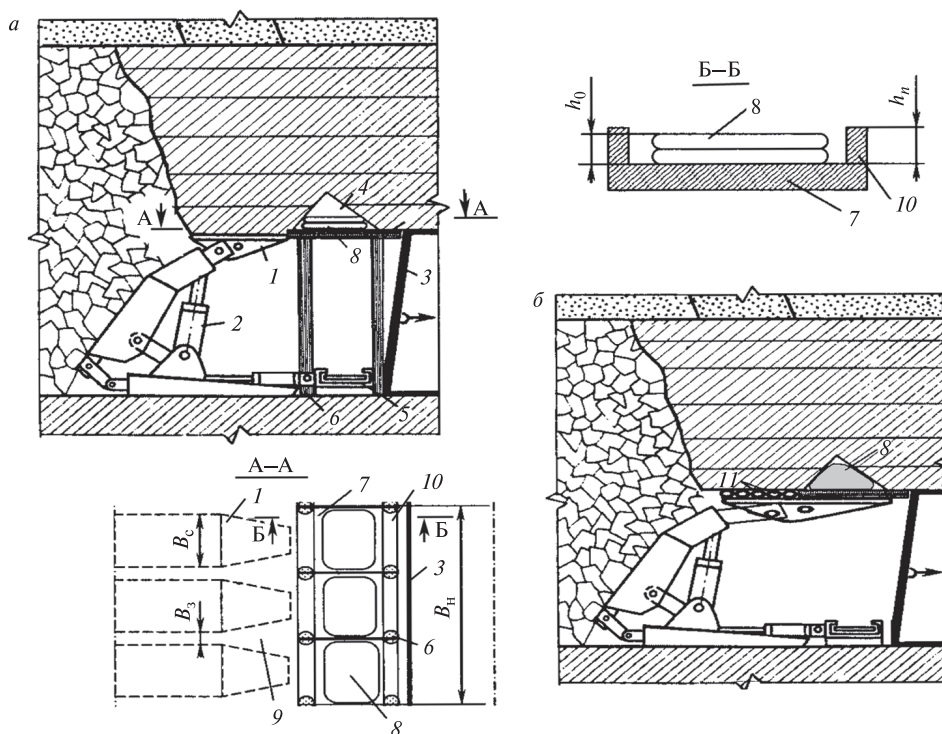


Рис. 5. Схемы перехода вывала механизированным комплексом:

a — схема установки в полости вывала мягкой оболочки до наполнения ее сжатым воздухом; *б* — схема установки в полости вывала мягкой оболочки после наполнения ее сжатым воздухом;

1 — козырек механизированной крепи; 2 — механизированная крепь; 3 — линия очистного забоя; 4 — вывальное пространство; 5 — скребковый конвейер;

6 — индивидуальные стойки; 7 — коробчатое перекрытие; 8 — мягкая оболочка;

9 — межсекционный зазор; 10 — планка коробчатого перекрытия;

11 — деревянные стойки

сжатый воздух под давлением 0,05–0,1 МПа и распирают ее между стенками образовавшегося вывального пространства 4 (см. рис. 5б). После чего секции механизированной крепи, находящиеся в створе вывального пространства 4, разгружают, между кровлей пласта и козырьком 1 механизированной крепи 2 укладывают рудничные стойки 11 перпендикулярно длинной стороне секции механизированной крепи. Перемещают секции на шаг заходки под коробчатое перекрытие 7 и создают распор в стойках механизированной крепи 2, не превышающий распора мягкой оболочки 8 в вывальном пространстве 4. Разгружают и убирают индивидуальные стойки 6 под коробчатым перекрытием 7 (см. рис. 5б).

Осуществляют выемку угля по всей длине очистного забоя 3, разгрузку и передвижку секций механизированной крепи 2 на шаг заходки, распор их между боковыми породами. При этом секции механизированной крепи, находящиеся под коробчатым перекрытием 7, перемещают на шаг заходки с остаточным подпором (не снимая распора со стоек механизированной крепи). Операции по выемке угля, передвижке секций механизированной крепи по всей длине лавы, а также передвижку секций крепи под перекрытием повторяют до тех пор, пока место образования вывального пространства 4 не окажется над завальной стойкой механизированной крепи, после чего мягкую оболочку 8 разгружают и извлекают в призабойное пространство межсекционных зазоров 9 механизированной крепи 2.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие

ВЫВОДЫ:

1) возникновение трещин давления связано с перераспределением напряжений впереди очистного забоя, о чем свидетельствует наличие пиковых значений деформаций стенок пробуриваемых шпуров;

2) расстояние между трещинами равно или кратно шагу выемки; расположение трещин относительно плоскости напластования составляет 60–80° с падением на забой и примерно параллельно плоскости забоя;

3) форма вывалов при прочих равных условиях зависит от типа пород непосредственной кровли и их структуры, естественной и эксплуатационной трещиноватости. Наибольшее число вывалов наблюдается по высоте 0,4–0,6 м;

4) предлагаемый способ крепления вывального пространства может использоваться в условиях тонких, средних и мощных пластов при использовании крепей поддерживающего, оградительно-поддерживающего и поддерживающе-оградительного типа;

5) при переходе очистными комплексами нарушенных участков способ крепления вывального пространства, основанный на использовании мягких оболочек, позволит сократить по сравнению с существующими способами время простоя лав, снизить трудоемкость по заполнению пустот, повысить безопасность работ.

Литература

1. *Кузнецов С. Т.* Исследование закономерностей разрушения и взаимодействия пород с крепями очистных выработок на пологих угольных пластах // Труды ВНИМИ. Л., 1970. Сб. 76. С. 106–117.
2. *Лыков И. Ф.* Кливаж и его влияние на характер обрушения пород. М.: Недра, 1976. 224 с.
3. *Овчаренко Б. П.* Оценка устойчивости кровли очистных выработок по физико-механическим свойствам слагающих пород // Физические процессы горного производства / ЛГИ. Л., 1976. Вып. 3. С. 11–16.
4. *Якоби О.* Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987. 565 с.
5. Патент № 2209983 Российская Федерация. Способ крепления вывального пространства / Г. В. Овчаренко // Б.И. 2003. № 22.

ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЧАСТИЧНОЙ ОТРАБОТКИ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ РУДНИКА ИМ. ГУБКИНА

Аннотация. Предлагаются технологические решения по снижению потерь руды в междукammerных целиках при проектировании нижних горизонтов рудника им. Губкина. С целью обоснования этих предложений проведено физическое моделирование на эквивалентных материалах. Высказывается необходимость опытно-промышленных работ, которые следует провести перед внедрением технологических решений в производство.

Ключевые слова: снижение потерь руды, крепление целиков, частичная отработка целиков.

Summary. Technological solutions of ore loss reduction in interchamber pillars at bottom levels design of Gubkin mine are developed. For the purpose of justification of these offers has been carried out physical modeling with the use of equivalent materials. The requirement for pilot work before industrial scale use is established.

Keywords: ore loss reduction, pillar fastening, partial pillar recovery, physical modelling.

Коробковское месторождение железистых кварцитов отрабатывается рудником им. Губкина на этаже $-71 \div -125$ м. В настоящее время запасы руд на указанном горизонте в пределах горного отвода предприятия практически заканчиваются. Запасы руд имеются как выше, так и ниже отрабатываемого горизонта (в пределах горного отвода до отметки -250 м). После проведения геомеханических исследований принято решение о первоочередном вскрытии и отработке запасов нижнего горизонта в пределах отметки $-125 \div -250$ м. Глубина горных работ на отметке -250 м составит 450 м от поверхности. На большей глубине возрастает горное давление, что необходимо учитывать при расчете размеров целиков и камер, а также величины предохранительного целика между горизонтом -125 м и нижележащим отрабатываемым этажом.

Большая часть горного отвода предприятия «Комбинат КМАруда» плотно застроена заводами, фабриками, железными и шоссейными дорогами, зданиями и сооружениями промышленного и гражданского назначе-

ния. Поэтому под поверхностью горного отвода при выемке руд категорически не допускаются обрушения пород в подземные выработки, сдвигание поверхности под влиянием горных работ, т.е. деформации пород над выработками допускаются только в упругом режиме. При отработке действующего этажа месторождения между горизонтами $-71 \div -125$ м это достигается за счет параметров применяемой этажно-камерной системы разработки: ширина камер — 30 м, длина — 55–75 м; ширина междукамерных целиков, ориентированных по короткой стороне камер, — 25 м, ширина междупанельных целиков, ориентированных по длинной стороне камер, — 20 м. Расчетная высота блока, т.е. высота камер и целиков, — 63 м [1].

Представленные параметры этажно-камерной системы разработки обеспечивают надежную и безопасную выемку запасов железной руды, но при данных параметрах потери руды в недрах составляют 57–60%. С точки зрения эффективного и рационального недропользования это обстоятельство является негативным с позиции требований к полноте отработки недр при проектировании нижнего горизонта -250 м.

Уменьшение ширины междукамерных целиков, в которых сосредоточены наибольшие потери полезного ископаемого, является основным направлением снижения потерь руды при отработке Коробковского месторождения этажно-камерной системой. Поэтому была разработана новая технология частичной отработки междукамерных целиков системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой и креплением целиков сквозными тросовыми штангами (рис. 1), которая обеспечивает снижение потерь руды на 35–40% [4].

Сущность технологии заключается в отработке целика горизонтальными слоями высотой 4–5 м в восходящем порядке. При этом выработанное пространство заполняют твердеющей закладкой 5 и упрочняют стенки целика сквозными горизонтальными тросовыми штангами 4, тем самым образуя новую комбинированную несущую конструкцию «целик — закладка — целик». На ее устойчивость максимальное влияние оказывает ширина оставленного рудного целика. Кроме того, на целостность конструкции влияют горнотехнические факторы: сетка установки горизонтальных тросовых штанг, тип закладки, мощность закладываемого слоя, порядок отработки, высота заходки, прочность руды и вмещающих пород.

Безопасность технологии исследовалась методом физического моделирования на эквивалентных материалах. Методы физического моделирования геомеханических процессов базируются на теории подобия, теории размерности [2, 3] и заключаются в воспроизведении в определенном масштабе структуры и физико-механических характеристик массива, реального процесса добычи полезного ископаемого на заданной глубине залегания, определении качественных и количественных характеристик напряжений и деформаций в массиве, получении физической картины процессов сдвига на различных горизонтах.

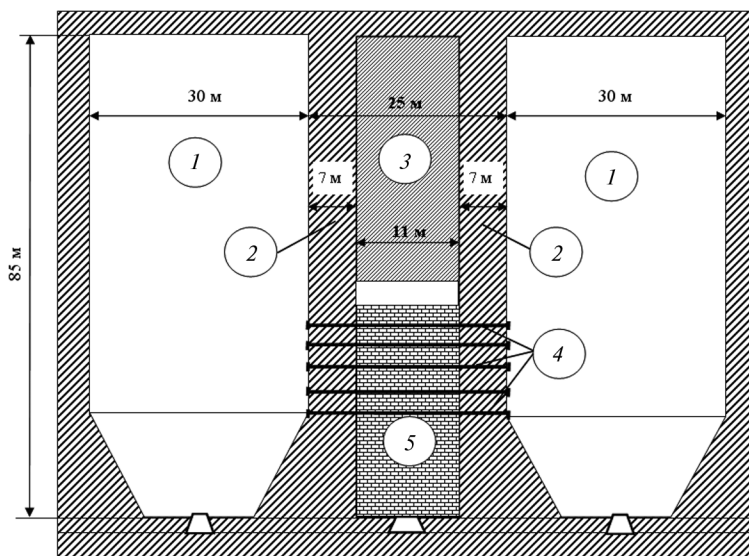


Рис. 1. Принципиальная схема этажно-камерной системы разработки с частичной выемкой целиков:

1 — очистная камера; 2 — стенки целика; 3 — частичная отработка междуканального целика; 4 — тросовые или прутковые железобетонные штанги; 5 — горизонтальные слои упрочненной закладки

Для лабораторных опытов была создана физическая модель из эквивалентных материалов, где целики 1, 2 и 4 являлись эталонными, а в целиках 3 (с креплением тросовыми штангами) и 5 (без крепления) велась частичная отработка (рис. 2). Результаты исследования частичной отработки

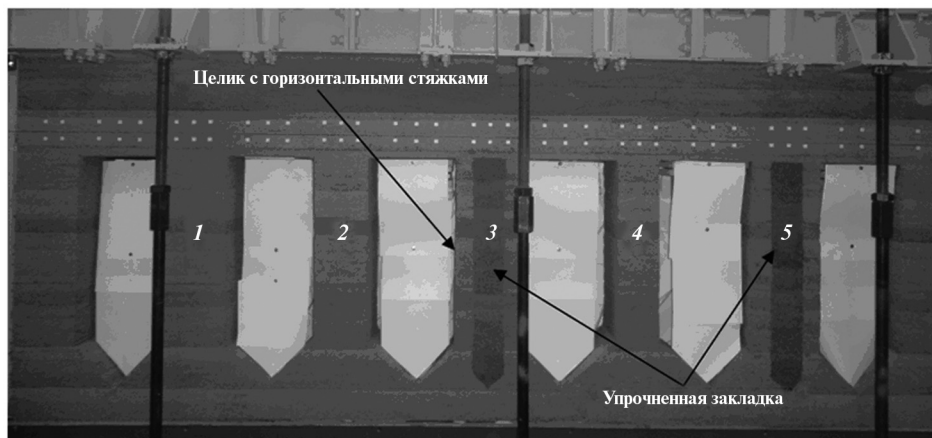


Рис. 2. Модель частичной отработки междуканальных целиков

целика 3 в три этапа (33; 66 и 97%) и дальнейшей отработки целика 5 при оставлении эталонных целиков 1, 2 и 4 (рис. 3) позволяют обосновать безопасность новой технологии снижения потерь руды. При доработке целика 5 на всю его высоту коэффициент запаса прочности в целиках оставался не ниже нормативного.

Анализируя полученные данные физического моделирования, можно сделать вывод о работоспособности предложенной технологии. Но возникает потребность в натурных исследованиях, в связи с этим для реализации и внедрения технологии необходимо создание опытно-промышленного участка.

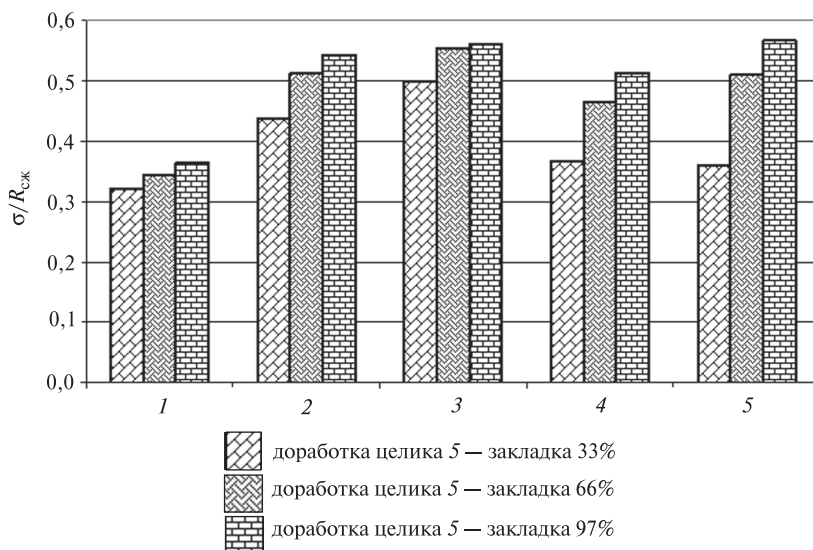


Рис. 3. Изменение отношения напряжений в целиках к их прочности на одноосное сжатие ($\sigma/R_{сж}$) при частичной отработке целиков 3 и 5

Литература

1. Богуславский Э. И., Коржавых П. В. Снижение потерь руды в междукамерных целиках при проектировании нижних горизонтов рудника им. Губкина ОАО «Комбинат КМАруда» // Записки Горного института. СПб., 2010. Т. 186. С. 50–53.
2. Глушихин Ф. П. Моделирование в геомеханике / Ф. П. Глушихин, Г. Н. Кузнецов, М. Ф. Шклярский и др. М.: Недра, 1991. 240 с.
3. Кузнецов Г. Н. Моделирование проявлений горного давления / Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев и др. Л.: Недра, 1968. 280 с.
4. Литвиненко В. С., Богуславский Э. И., Коржавых П. В. Физическое и математическое моделирование технологических параметров этажно-камерной системы разработки нижнего горизонта рудника им. Губкина // Записки Горного института. СПб., 2012. Т. 195. С. 115–119.

УДК 622.831.31

И. Ю. РАССКАЗОВ,
А. В. ГЛАДЫРЬ,
М. И. РАССКАЗОВ,
Д. И. ЦОЙ,
П. А. АНИКИН,
А. Ю. ИСКРА,
В. И. МИРОШНИКОВ

(Институт горного дела Дальневосточного
отделения РАН, г. Хабаровск, Россия)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ШИРОКОДИАПАЗОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрена разработанная в ИГД ДВО РАН и применяемая в настоящее время система геоакустического мониторинга Prognoz ADS. Указана необходимость расширения частотного и динамического диапазонов применяемой системы путем создания широкодиапазонной системы мониторинга опасных проявлений горного давления. Предложена система геоакустического мониторинга нового поколения, построенная с применением современных функционально законченных модулей. Обосновано применение отдельных модулей.

Ключевые слова: геомеханический мониторинг, горные породы, акустический контроль, микросейсмика, системы сбора данных, обработка информации.

Summary. Considered developed by IGD FEB RAS and currently used monitoring system geoacoustic «Prognoz ADS». Indicated the need to increase the frequency and dynamic range of the system used by a wide-range monitoring dangerous manifestations of rock pressure. The system of monitoring geoacoustic new generation, built with modern functionally complete modules. The application of the individual modules.

Keywords: geomechanical monitoring, rock, the acoustic control, microseismic, data acquisition, data processing.

В настоящее время при разработке месторождений твердых полезных ископаемых особую актуальность приобретает проблема прогноза и предотвращения опасных динамических проявлений горного давления, приводящих в отдельных случаях к катастрофическим последствиям.

Проявления горного давления на глубоких горизонтах месторождений протекают на фоне высокой геотектонической активности региона. Она обусловлена улом пересечения глубинных трансблоковых меридиональ-

ных, широтных и северо-восточных разломов, где концентрировались тектоно-магматические события и динамические явления (в том числе сейсмогенные) начиная с позднепротерозойского периода вплоть до новейшего времени. Тектонически активный регион Юго-Восточного Забайкалья является слабоизученным, где до настоящего времени постоянные наблюдения за протеканием сейсмических процессов не проводились. Для этой территории необходимы исследования геодинамической, сейсмической обстановки и напряженно-деформированного состояния породных массивов.

Выполнение подобных исследований возможно лишь при условии создания на месторождениях ОАО «Приаргунское производственное горнохимическое объединение» (ОАО «ППГХО») многоуровневой системы комплексного геодинамического мониторинга (геодинамического полигона), которая бы объединяла целый ряд методов (сейсмический, деформационный, геоакустический, геодезический, тектонофизический и др.) и измерительных комплексов в единую интегрированную наблюдательную сеть. Создание такой системы и организация наблюдений позволят выделять региональные и локальные предвестники динамических явлений разного энергетического уровня в горных массивах и обосновать комплекс мер по эффективному освоению месторождений полезных ископаемых с учетом геодинамических и техногенных процессов в горных массивах.

Одним из перспективных направлений в создании подобных технических и аналитических средств является разработка автоматизированных систем микросейсмического или геоакустического мониторинга [1–3]. Эти системы в реальном масштабе времени обеспечивают регистрацию и оперативную обработку параметров сейсмоакустических событий, несущих информацию о геомеханических и геодинамических процессах в горном массиве.

Одним из таких измерительно-вычислительных комплексов является разработанная в ИГД ДВО РАН цифровая геоакустическая система контроля горного давления (Prognoz ADS). Данная система состоит из подземной и поверхностной частей и включает в себя цифровые приемники-преобразователи; объединенные в одном блоке ретранслятор, источник питания и синхронизатор; многопортовый расширитель RS-485; центр приема и обработки потока АЭ-импульсов, а также управления датчиками и контроля всех узлов и трактов системы на базе персонального компьютера [4].

Однако опыт многолетней эксплуатации показал необходимость использования многоуровневых систем контроля, в которых акустический мониторинг (имеющий более высокую «разрешающую» способность) должен сопровождаться сейсмическими наблюдениями. В свою очередь акустическая эмиссия является предвестником более крупных сейсмических событий, регистрация которых невозможна акустическими средствами измерения [5].

ОАО «ППГХО», сотрудничающее с ИГД ДВО РАН, обрабатывает подземным способом ряд месторождений, характеризующихся сложными геомеханическими и удароопасными условиями. К настоящему времени на рудниках объединения (преимущественно на месторождении «Антей») зарегистрирован весь спектр динамических проявлений горного давления, вплоть до сильных и разрушительных горных ударов, и с понижением горных работ и вовлечением в эксплуатацию рудников № 1 и 2 прогнозируется рост количества и интенсивности этих опасных явлений.

В настоящее время разработана и внедряется в эксплуатацию автоматизированная широкодиапазонная система геомеханического мониторинга горного давления (АШСКГД), которая дополнит уже эксплуатируемую на глубоких горизонтах месторождения «Антей» АСКГД Prognoz ADS. Это позволит регистрировать сейсмоакустические события с энергией до 105 Дж и выше в более широкой зоне контроля, включая рудники № 1, 2 и «Глубокий», и обеспечит более надежный прогноз и предотвращение опасных проявлений горного давления.

По результатам анализа современного уровня развития средств регистрации сейсмических событий и передачи данных, элементной базы, информационных технологий и на основе собственных разработок в области создания и совершенствования измерительных комплексов была обоснована и реализована функциональная схема системы микросейсмического мониторинга.

На начальных этапах выполнения работ по данному направлению были проанализированы технические и эксплуатационные характеристики первичных преобразователей различных типов: магнитоупругого, пьезокерамического, электродинамического. В результате анализа и с учетом существующего построения подобных систем в качестве базовых были определены геофоны электродинамического типа GMT-12,5, в которых в одном корпусе установлены три однокомпонентных датчика. Технические характеристики каждого канала трехкомпонентного приемника: чувствительность — порядка $30 \text{ В/м} \cdot \text{с}^{-1}$ без балластного сопротивления и $20 \text{ В/м} \cdot \text{с}^{-1}$ с балластным сопротивлением, полоса рабочих частот (по паспорту) — от 10 до 500 Гц.

Использование данных приемников потребовало дополнительного исследования полосы рабочих частот, поскольку паспортные данные гарантировали работу датчика до 500 Гц, а сейсмостанция рассчитана на работу до 1000 Гц.

Исследования рабочей полосы проводились на калибровочном стенде 4815. Как и предполагалось, усредненная зависимость коэффициента передачи датчика от частоты равномерна в полосе частот от 20 до 700 Гц и имеет два резонансных пика на частотах вблизи 10 и 1100 Гц.

При корректировке такой передаточной функции программными или инструментальными средствами может быть обеспечена полоса рабочих частот трехкомпонентного датчика в диапазоне от 10 до 1300 Гц, что вполне

оправдывает применение датчиков типа GMT-12,5 в широкодиапазонной системе геомеханического мониторинга.

В качестве аналого-цифрового преобразователя использовался преобразователь марки ZET230 производства ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» (г. Зеленоград).

В процессе разработки системы сейсмического мониторинга было принято решение создать специализированный предварительный усилитель.

Усилитель конструктивно был выполнен в виде печатной платы в бескорпусном исполнении, предназначенной для монтажа в корпус аппаратуры регистрации сейсмических сигналов. Размер печатной платы составляет 49×70 мм и включает в себя три независимых канала усиления сигналов сейсмических датчиков. Схема построена на основе инструментальных усилителей марки AD621. Каналы имеют дифференциальные входы. На плате расположены переключки для переключения коэффициентов усиления независимо для каждого канала.

Аналого-цифровой преобразователь и разработанный предварительный усилитель были исследованы на предмет соответствия выдвигаемым требованиям для использования в составе системы микросейсмического мониторинга в качестве регистрационного тракта.

Для размещения блоков первичной регистрации и обработки сейсмосигналов (модуля сбора данных АШСКГД) в подземных горных выработках оборудованы сейсмопавильоны, которые включают 3 скважины (2 вертикальные и 1 горизонтальную) диаметром 105 мм и глубиной 2 м для установки сейсмоприемников, и шкаф с оборудованием на борту выработки.

Подземная аппаратная является центральным узлом, объединяющим несколько датчиков по схеме «звезда».

В поверхностном комплексе УГРУ в помещении участка ППГУ, где располагается рабочее место оператора системы мониторинга, установлен персональный компьютер с предустановленным аналитическим программным обеспечением. Персональный компьютер (сервер) соединен с подземной аппаратной магистральным кабелем.

Основные блоки установлены в подземной аппаратной и представляют собой коммутационный шкаф, оснащенный промежуточным сервером, маршрутизатором, высокоскоростным модемом, аналого-цифровым преобразователем, источниками питания павильонов 48 В и источником бесперебойного питания шкафа 48 В с расчетом автономной работы на сутки.

Важнейшей функцией системы геомеханического мониторинга является определение точного времени, необходимое для обеспечения синхронизации измерения параметров регистрируемых разнесенными в пространстве приемниками сейсмических волн.

Для обеспечения точного времени в системе микросейсмического мониторинга организован сервер точного времени. Первичную информацию о точном времени сервер получает со спутников системы GPS. Считыва-

ние информации и подстройка часов сервера осуществляются программой NMEATime. Настройка программы сводится к выбору и настройке COM-порта и дополнительного стробирующего сигнала PPS.

Дальнейшая синхронизация времени в сети модулей сбора данных осуществляется по протоколу Network Time Protocol (NTP), представляющему собой сетевой протокол для синхронизации внутренних часов компьютера с использованием сетей с переменной латентностью. NTP использует для своей работы протокол UDP. Система NTP чрезвычайно устойчива к изменениям латентности среды передачи.

В результате выполненной работы был разработан и изготовлен опытный образец системы микросейсмического контроля опасных проявлений горного давления. В подземных горных выработках и поверхностном комплексе ОАО «ППГХО» были установлены элементы системы микросейсмического контроля, создана наблюдательная сеть и проведена проверка работы ее технических и программных средств.

Предложенные и реализованные способы установки первичных преобразователей (в забой и устье вертикальной скважины) обеспечивают достоверную регистрацию сейсмических событий. Нестабильность показаний первичных преобразователей GMT-12,5 по каждому каналу не превышает 0,1%.

Определены оптимальные скорости передачи данных между подземной аппаратной и установленными в массиве горных пород модулями сбора данных, которые составляют не менее 7168 Кбит/с.

Экспериментально опробована работа системы синхронизации времени. Среднее расхождение времени при использовании протокола NTP на дистанциях 500 м и более в течение суток не превышает 13 мс. Среднее расхождение времени внутри секунды — менее одного такта АЦП.

Для обеспечения электрозащиты элементов системы мониторинга были разработаны и изготовлены электронные устройства защиты линий, обеспечивающие трехуровневую защиту, основанную на совместном применении газоразрядных ламп, быстродействующих TVS-диодов и самовосстанавливающихся предохранителей.

Работа системы микросейсмического мониторинга невозможна без специально разработанных программных средств. Причем в составе программных средств присутствуют как программы, поставляемые вместе с оборудованием и используемые для считывания и сохранения первичной информации с аналого-цифрового преобразователя, так и программы, разработанные специально для обработки полученных первичных микросейсмических данных.

На основе алгоритма STA/LTA-детектора разработана программа автоматического детектирования сейсмического импульса, применение которой совместно с полосовыми цифровыми фильтрами обеспечивает эффективное выделение полезных сигналов в сложной помеховой обстановке действующего предприятия.

Проведенные испытания системы микросейсмического контроля, включая программное обеспечение, систему синхронизации измерений сейсмоприемников, детектирования и выделения сигналов, показали уверенную регистрацию сейсмических волн от технологических взрывов, обработку и передачу данных на сервер с заданными параметрами.

Дальнейшая интеграция систем микросейсмического и акустического контроля позволит значительно увеличить объем получаемой информации о состоянии горного массива, необходимой для использования как в научно-исследовательской работе, так и в технологическом процессе производства.

Литература

1. Геофизические исследования горных ударов / И. М. Петухов, В. А. Смирнов, Б. Ш. Винокур, А. С. Дальнов. М.: Недра, 1975. 134 с.
2. Ямщиков В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. М.: Недра, 1982. 296 с.
3. Вознесенский А. С. Системы контроля геомеханических процессов. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 152 с.
4. Акустический измерительно-вычислительный комплекс для геомеханического мониторинга массива пород при ведении горных работ / Г. А. Калинов, И. Ю. Рассказов, А. Ю. Искра, Д. А. Куликов, К. О. Харитонов // Физическая акустика. Распространение и дифракция волн. Геоакустика. Сб. тр. XVI сессии Российского акустического общества. Т. 1. М.: ГЕОС, 2005. С. 351–354.
5. Проектирование системы геоакустического мониторинга нового поколения / А. В. Гладырь, Д. С. Мигунов, В. И. Мирошников, В. А. Луговой // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во МГГУ, 2010. С. 101–108.

УДК 622.016; 222.01; 622.64

В. И. АЛЕКСАНДРОВ,
проф., зав. каф. ГТМ

В. Ю. КОПТЕВ,
доц. каф. ГТМ

(Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

СОВРЕМЕННЫЕ СХЕМЫ ТРАНСПОРТА ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Аннотация. Рассматривается современное состояние транспортных работ при проведении подземных горных выработок с учетом современных требований скоростной проходки выработок и логистики. Даны рекомендации по выбору транспортных схем и проходческих машин.

Ключевые слова: горные технологии, транспортная схема, горные машины.

Summary. In paper the current state of transport works in mining technologies and taking into account increase of productivity and logistics of transport system considered. and tunneling machines. Recommendations for choice transport schemes and mining machines are resulted.

Keywords: transport schemes, mining technologies, mining machines.

С позиций логистики задача анализа технологических процессов, в которых сочетаются отдельные операции и непрерывные потоки, представляется весьма интересной. К такому процессу относится и проведение подземных выработок, характеризующееся сочетанием работ по разрушению горных пород, погрузке, обеспечению безопасных условий и ряда других, выполняемых в определенной последовательности (периодично во времени) и непрерывного потока грузов от забоя и к нему.

Взаимосвязи во времени и пространстве основных и вспомогательных процессов, выполняемых при проведении выработок, и способ механизации определяют технологические схемы производства и организации работ. Различают три основные технологические схемы организации работ: цикличную, циклично-поточную и непрерывную.

При *цикличной* технологии основной процесс непосредственной выемки горной массы осуществляют с перерывами, вызванными необходимостью выполнения других работ, которые практически возможно осуществить только в определенной последовательности с основным процессом. К цикличной технологии относятся все способы проведения выработки с разру-

шением горной массы *буровзрывными работами*, а также *комбайновый* способ проведения выработок с механическим разрушением пород в тех случаях, когда для возведения крепи приходится останавливать работу комбайна.

Проходческий цикл складывается из всех операций, которые выполняются при проведении выработки на определенное расстояние. Обычно при буровзрывном способе разрушения пород это расстояние определяют полезной глубиной шпура — величиной заходки, а при механическом способе — комбайновой проходкой на длину коронки или расстояние между рамами крепи.

Длительность проходческого цикла равна суммарной продолжительности всех последовательно выполняемых операций с учетом их частичного совмещения и обычно кратна продолжительности смены.

При *циклично-поточной* технологии совмещаются во времени многие основные операции и при применении непрерывных средств транспорта осуществляется практически непрерывное извлечение горной массы из забоя выработки. К этой схеме можно отнести технологию проведения подготовительных выработок проходческими комбайнами в условиях, когда одновременно с работой комбайна возводят постоянную крепь, грузят и транспортируют горную массу и проводят другие операции.

Наиболее прогрессивной технологией является *непрерывная* [1, 6], с совмещением во времени операций. Например: проведение и крепление выработки тоннелепроходческим комплексом типа **Herrenknecht** с конвейерным или гидравлическим транспортом разрушенной породы, комбайнами, с буровыми рабочими органами и транспортными машинами непрерывного действия и проходческими агрегатированными комплексами. К последним относятся комбайновый «Болтер майнер», комплекс «Сибирь-2М», комбайновый КН-5Н «Кузбасс» с механизированной крепью, взрывоопасный ПКВН с клиновым погрузочным модулем [7]. Все основные технологические операции выполняются непрерывно во времени, отсутствуют циклы операций. Исключения (ограничения): длина породного обнажения, работы по созданию технологического отхода и некоторые другие вспомогательные операции.

Увеличение доли проведения выработок комбайнами в угольной промышленности и их скорости подтверждается данными табл. 1 и 2.

Таблица 1

Структура способов проведения подготовительных выработок

Показатель	Год	
	2001	2007
Общее количество подготовительных забоев, ед.	706	591
Количество подготовительных забоев с погрузкой горной массы, ед., в том числе:	592	442
комбайнами	264	265

Окончание табл. 1

Показатель	Год	
	2001	2007
погрузочными машинами	113	71
канатными скреперами	91	43
вручную	103	37

Таблица 2

Показатели способов проведения подготовительных выработок

Показатель	Год						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Численность рабочих, занятых на подготовительных работах, человек	22 468	21 059	18 903	18 549	19 732	1162	18 004
Длина проведенных выработок, км	637,7	603,1	583,4	618,7	633,7	638,1	575,6
Длина проведенных выработок комбайнами, км	357,4	338,7	332,8	380,3	402,8	419,6	390,2
Скорость проведения выработок, м/мес.	75,3	73,0	83,2	81,6	78,4	80,4	81,2
Скорость проведения выработок комбайнами, м/мес.	106,4	106,5	109,6	114,0	118,2	124,4	122,7

Результаты анализа применяемых технологических схем проведения выработок показал, что на их выбор влияют горно-геологические и производственно-технические условия.

К *горно-геологическим факторам* относят:

- мощности угольного пласта и пород, по которым проводят выработку;
- угол падения пласта;
- крепость угля и вмещающих пород;
- устойчивость и газоносность;
- склонность к внезапным выбросам;
- водообильность и др.

Производственно-технические факторы:

- площадь сечения выработки в свету и вчерне;
- протяженность выработки;
- срок службы выработки;
- характер забоя (угольный, смешанный или породный);
- необходимые скорости проведения;
- возможные виды доставки извлекаемой горной массы, материалов и оборудования в забой;
- схемы транспорта шахты;
- время, отводимое на проведение выработки.

Разнообразие горнотехнических условий определяет различие схем, средств и способов транспортирования, применяемых на конкретных горных предприятиях. При выборе наиболее целесообразного варианта с высокими экономическими показателями транспортирования необходимо обеспечить:

1) прогрессивность принятых схем, средств и методов транспортирования с необходимой пропускной способностью транспортной системы, качеством транспортируемого продукта и безопасными условиями труда;

2) однотипность применяемых транспортных средств, облегчающую эксплуатацию транспортных систем, уход и ремонт транспортных механизмов. При равных показателях предпочтительнее схемы с непрерывным транспортом;

3) перевозку людей, вспомогательных грузов, материалов и оборудования к месту работы, доставку породы к местам ее складирования. Предпочтительнее транспортные комплексы, которые обеспечивают наряду с доставкой основного груза доставку и вспомогательных грузов;

4) комплексность принятых технических решений, полную взаимную увязку средств отдельных звеньев транспортной системы;

5) возможность механизации и автоматизации процесса и работ в смежных звеньях технологического процесса добычи;

6) высокие показатели надежности машин и транспортной системы в целом, обеспечиваемые созданием на стыках транспортных магистралей аккумулялирующих емкостей;

7) максимальную занятость рабочих сменного звена при выполнении операций проходческого цикла;

8) совмещение операций по выемке и креплению проводимых забоев при согласованной работе транспортной цепочки;

9) проведение спаренных выработок (упрощается проветривание длинных тупиков и повышается эффективность использования техники с достижением коэффициента машинного времени 0,8 и выше).

К основным задачам при выборе транспортных схем относятся:

а) установление рациональной величины аккумулялирующих емкостей и их размещения (или перемещения);

б) выбор средств транспорта в отдельной изолированной выработке;

в) выбор средств транспорта для заданной системы горных выработок.

Применение аккумулялирующей емкости снижает коэффициент неравномерности грузопотока транспортной установки, устанавливаемой после емкости. Ее вместимость

$$G_e = G_{me} \left(\frac{k_0 - 1}{k - 1} \right)^2,$$

где G_e — вместимость аккумулялирующей емкости, т;

G_{me} — вместимость мерной емкости, т;

k_0 — коэффициент неравномерности грузопотока из забоя;

k — коэффициент неравномерности грузопотока после аккумулялирующей емкости.

Снижение коэффициента неравномерности дает возможность применить менее мощное, а следовательно, и более дешевое транспортное оборудование. Но при этом необходимо учесть: экономя на транспортном оборудовании, мы производим затраты на аккумулярующие емкости, оптимальная величина которых соответствует минимуму эксплуатационных (или приведенных) затрат по транспорту. На практике эту задачу лучше решить методом сравнения вариантов, чем пользоваться нормативами аккумулярующих емкостей.

При выборе транспортной схемы и средств транспорта необходимо учитывать способ проведения выработки, используемую схему существующего на предприятии транспорта, сроки проведения выработки и индивидуальные характеристики машин и многие другие факторы [2].

Применение комбайнов позволяет совмещать основные операции во времени, сокращает длительность рабочего цикла проведения выработки, создает возможность прохождения выработок с высоким качеством боковых поверхностей и почвы. Значительно повышается эффективность работы комбайнов за счет снижения объема разрушаемой массы и значительно сокращения объема забутовки. Существенное влияние на эффективность работы в целом оказывает тип исполнительного органа [5].

В настоящее время в России вместо ранее выпускаемых заводами СССР шести моделей проходческих комбайнов избирательного действия выпускаются комбайн легкого класса 1ГПКС массой 25–28 т (разной модификации), комбайн среднего класса КП-21 массой 40 т; освоено производство комбайна тяжелого класса КП-25 массой 52 т. Подготовлены к производству новые современные комбайны: КП-15 (масса — 15 т), КП-20Б (масса — 28 т), КП-25Н — для проходки уклонов, модель КП-25А (масса — 58 т) с оборудованием механизации анкерования, а также проходческо-добычной комбайн ПДКА (масса — 65 т, аналог комбайна фирмы JOY). Начато производство комбайнов КП 200Т (масса — 105 т) на ОАО «Копейский машиностроительный завод». Предназначен комбайн для механизации отбойки и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных ($\pm 12^\circ$) горных выработок арочной, трапециевидной и прямоугольной формы сечения (в том числе в обводненных выработках) площадью от 18 до 52 м² по углу и породам с верхним пределом прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж} = 120$ МПа и абразивности до 18 мг.

В сентябре 2009 г. на строительстве станции метро «Чкаловская» в Екатеринбурге завершились промышленные испытания тоннелепроходческого комбайна КП200Т, ОАО «КМЗ» по заказу ООО «Метрострой — ПТС». Аналогов тяжелого комбайна эксплуатационной массой 105 т в Российской Федерации не было. Комбайн имеет телескопический исполнительный орган энерговооруженностью 200 кВт; монтажную площадку (2 человека), напряжение 660 В или 1140 В; гидравлическую ходовую часть, в редукторах которой применены высокомоментные гидромоторы Danfoss типа OMV 630; погрузочный орган одновременно выполняет функцию

передней опоры комбайна и совместно с задними аутригерами повышает его устойчивость во время разработки забоя; гидравлический погрузочный орган имеет две не связанные друг с другом нагребающие звезды.

Отсутствие отечественных проходческих комбайнов во всем диапазоне мощностей и масс (от 8–10 до 80–100 т) восполнялось импортом комбайнов зарубежных фирм, в том числе машиностроительных заводов Украины. Так, за последние годы в Украине производятся комбайны следующих моделей: П110 и П220 (ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод») и КСП21, КСП22, КСП32, КСП42 (модернизированные варианты проходческих комбайнов 1ГПКС, 4ПП2М, 4ПП5) (ОАО «Ясиноватский машиностроительный завод»).

В этой ситуации российские угольные компании приобретают зарубежное оборудование. Но в силу ограниченных экономических возможностей приобретаемая техника только в единичных случаях представляет собой механизированные комплексы, в основном это отдельные машины, использование которых оказалось малоэффективным. При сложившейся организации труда при проведении горных выработок технические возможности импортной проходческой техники реализуются на 15–20% и не превышают, как правило, показателей работы отечественной техники [3].

Современные проходческие комбайны избирательного действия четвертого поколения, выпускаемые ведущими зарубежными фирмами Австрии, Германии, Швеции, США, Великобритании, Украины, способны разрушать породы прочностью на сжатие до 120 МПа и имеют мощность привода исполнительного органа от 55 до 400 кВт.

Например, для шахт, опасных по газу, для проходки штреков, камер высотой 3,2 м и шириной 5,3 м и отработки целиков применяется горный роторный комбайн (бурового типа) MF 320 (Marietta 900) Sandvik Mining and Construction с производительностью 10 т/мин. Длина комбайна — 11,3 м, масса — 145 т. Несколько таких комбайнов успешно эксплуатируются в Четвертом рудоуправлении компании «Уралкалий» г. Березники, Пермский край.

В целом зарубежные проходческие комбайны имеют ряд преимуществ по сравнению с отечественными, основные из которых связаны с оснащением их системами автоматизации, средствами диагностики узлов и агрегатов машины, средствами бурения с устройствами для возведения анкерной или рамной крепи; они обладают более высокой энерговооруженностью, ресурсом и производительностью.

Сдерживающим фактором является крепление выработок. Опыт работы ведущих угледобывающих стран мира — США, Австралии, Великобритании, Германии — говорит о возможности совмещения операций по разрушению забоя и возведению анкерной крепи, при этом коэффициент машинного времени может достигать 0,9.

За счет сокращения в 2 раза времени обработки забоя и в 2–3 раза операций по бурению скважин и установке анкеров, а также за счет совмещения операций по обработке забоя и креплению выработки применение

комплектов непрерывного действия позволит сократить продолжительность проходческого цикла до 25 мин на 1 м проходки.

Требуемую скорость проведения спаренных выработок по углю сечением 12–20 м² с установкой анкерной крепи впереди комбайна с помощью переносных станков типа Wombat, анкероустановщиков «Рамбор» можно обеспечить при применении комбайнов среднего типа массой до 40 т и тяжелого типа массой более 50 т с двумя анкероустановщиками, расположенными на корпусе комбайна.

При применении комбайна процесс разрушения массива практически непрерывен и необходимо, чтобы и последующие технологические операции могли обеспечивать поддержание непрерывности технологии.

Опытным путем определили, что все проходческие забои должны иметь постоянную схему транспорта с использованием перегружателей или самоходных вагонов для транспортировки горной массы от комбайна до ленточного конвейера. Анализ выпускаемых перегружателей и ленточных конвейеров показал, что их номенклатура и технические возможности удовлетворяют требованиям скоростного проведения выработок. Также весьма эффективной схемой может считаться технология проведения спаренных выработок с самоходными машинами. Например, при двух- (много-) штрековой подготовке предполагается использовать самоходные вагоны, которые обладают высокой мобильностью.

Для транспортировки горной массы от проходческого комбайна до конвейера может быть рекомендован самоходный вагон 10BC15. Он надежен, прост в эксплуатации и в 2,5–3 раза дешевле своих импортных аналогов; отлично зарекомендовал себя на шахтах «Полосухинская», «Есаульская», «Кыргайская», «Распадская» и др.

Результат правильной организации труда — это достижение наибольшей скорости проведения выработки, высокой производительности труда и снижение стоимости 1 п. м выработки.

Организация труда проходчиков имеет свою специфику, так как рабочим местом проходческой бригады является небольшой участок горной выработки, прилегающей к забою, который постоянно перемещается. На этом участке сосредоточивается несколько машин и механизмов.

Анализ скоростных проходок комбайнами показал, что главным фактором, влияющим на темпы проходки, является организация работ: расстановка людей на рабочих местах; совмещение операций проходческого цикла; укрупнение проходческих бригад; материально-техническая подготовка к работе по скоростному графику. Для каждой схемы подготовки нужно разрабатывать свои графики организации работ [4].

Выбор транспортного оборудования предлагается производить по критерию транспортных услуг, с количественным показателем транспортного потока $P_{тр}$. Перемещение груза рассматривается как движение материального потока, протекающего в пространственно-временной системе координат. Транспортный поток характеризуется тремя параметрами: объемом Q ,

временем T и расстоянием L и может находиться в одном из сочетаний четырех состояний: погрузки — транспортирования — выгрузки — хранения.

Показатель транспортного потока $\Pi_{\text{тр}}$ определяется по формуле

$$\Pi_{\text{тр}} = Q^x T^y L^z.$$

При $x = 1$, $y = -2$, $z = 2$ получим формулу величины транспортных услуг ($Y_{\text{тр}}$):

$$ТП = QL^2T^{-2} \text{ (т} \cdot \text{км}^2\text{/ч}^2\text{)} \text{ или } \Pi_{\text{тр}} = Fv \text{ (т} \cdot \text{км/ч} \cdot \text{км/ч)}.$$

Величина транспортных услуг $Y_{\text{тр}}$ может быть принята как критерий транспортного потока, характеризующий величину расхода мощности транспортной машины за время транспортирования (предложен П. Кузнецовым и Р. Образцовым). Этот критерий используется в технико-экономических расчетах энергетической составляющей транспортного процесса: рассеивание мощности на 1 км пути при доставке 1 т груза. В отличие от транспортной работы (т · км) он учитывает скорость доставки груза, а при выработке управленческих решений преимущество отдается большей скорости.

Алгоритм выбора транспортной схемы показан на рис. 1.

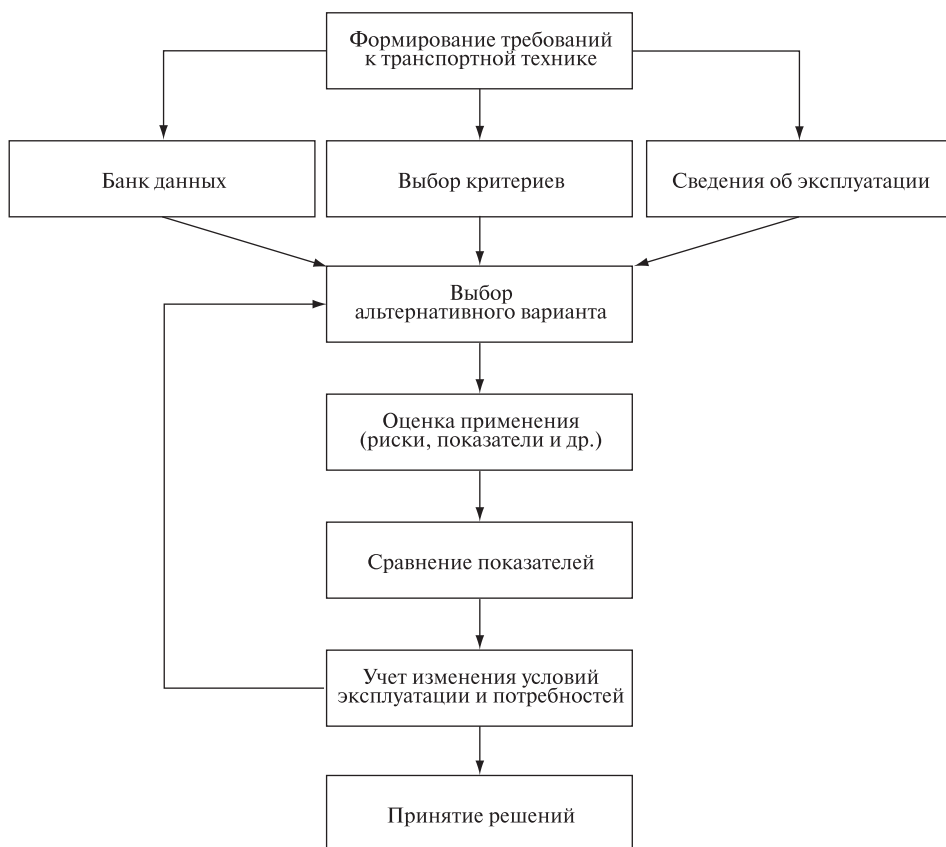


Рис. 1. Алгоритм выбора транспортной схемы

Окончательный выбор схемы производится по критерию оптимальности экономических показателей, учитывающему капитальные, эксплуатационные и приведенные затраты:

$$П = Э + E_{эм}K_{эм} + E_{т}K_{т} \text{ (руб./год),}$$

где Э — годовые эксплуатационные затраты, руб.;

$K_{эм}$ — капитальные затраты на электромеханическое оборудование, руб.;

$K_{т}$ — капитальные затраты на горно-строительные работы, руб.;

$E_{эм}$ и $E_{т}$ — нормативные коэффициенты эффективности капитальных затрат на электромеханическое оборудование и на горно-строительные работы.

Результаты определения наиболее эффективного оборудования для проведения выработок без учета вида шахтного транспорта представлены в табл. 3.

Таблица 3

Рекомендуемые средства механизации для проведения выработок

Тип и назначение выработки	Длина выработки, м	Обозначение и площадь сечения выработки, м ²	Машины для погрузки и транспортирования горной массы
Штольни, рассечки, орты	До 50	ПС — 2,0; Т — 2,0; Т — 3,0	Скреперная от забоя до устья
Штольни, рассечки	До 100	ПС — 2,7; Т — 4,8	Скреперная от забоя до устья
Штольни, квершлаг, штреки, рассечки	До 150	ПС — 6,4; ПС — 6,8; Т — 5,3; Т — 6,1	Машины типа ПТ с ковшем до 2,5 м ³ или малогабаритные типа ПД
Штольни, квершлаг, штреки	До 250	ПС — 8,3; ПС — 8,7	Машины типа ПТ с ковшем до 4 м ³ или типа ПД и самоходный вагон
Штольни, квершлаг, штреки	До 500	ПС — 4,2; ПС — 4,5; Т — 5,3; Т — 6,1	Скреперная или малогабаритная погрузочная машина, откатка электровозом в вагонетках вместимостью до 1,0 м ³ или машина типа ПД
Штольни, квершлаг, штреки, разминовки	Любая	ПС — 6,4; Т — 7,0	Скреперный грузчик или малогабаритная погрузочная машина, электровозная откатка в вагонетках вместимостью до 2,5 м ³ или машина типа ПД
Разминовки или двухпутные выработки	Любая	ПС — 8,3 Т — 9,8; Т — 11,0	Погрузочная машина, электровозная откатка в вагонетках вместимостью до 3,5 м ³ или машина типа ПД
Разминовки или двухпутные выработки	Любая	ПС — до 12,1; Т — до 13,6	Погрузочная машина, электровозная откатка в вагонетках вместимостью до 1,4 м ³ или машина типа ПД

Окончание табл. 3

Тип и назначение выработки	Длина выработки, м	Обозначение и площадь сечения выработки, м ²	Машины для погрузки и транспортирования горной массы
Штольни, квершлагги, штреки, уклоны	Более 250	Более 14	Погрузочная машина, самоходный вагон или машина типа ПД или АС грузоподъемностью до 20 т
Разминовки или двухпутные выработки	До 300	Более 16	Погрузочно-транспортная машина (типа ПТ, ПД) с ковшом (кузовом) до 6 м ³ или АСШ
Постоянные выработки	Любая	Более 16	Погрузочная машина, погрузочно-транспортная машина (типа ПТ, ПД) и автосамосвал грузоподъемностью свыше 22 т
Капитальные выработки и тоннели большого сечения	Не ограничена	40–80	Две погрузочные машины или машины типа ПД и АС грузоподъемностью свыше 32 т
Горизонтальные тоннели метрополитена	Не ограничена	От 20	Проходческий щит, ленточный перегружатель и конвейер, или локомотивная откатка, или монорельсовый транспорт, или гидротранспорт

Примечание. В таблице применены условные обозначения для формы выработок: ПС — прямоугольно-сводчатая, Т — трапецевидная; для транспортных машин: ПТ — погрузочно-транспортные машины с ковшом и кузовом, ПД — погрузочно-доставочная с транспортным ковшом, АС — автосамосвал с жесткой рамой, АСШ — автосамосвал с шарнирно-сочлененной рамой.

Сегодня транспорт является сдерживающим звеном в технологии высокоскоростного проведения выработок. При использовании машин циклического действия возникают противоречия — требования к наибольшей вместимости ограничиваются габаритами машин и безопасными условиями их перемещения. Машины непрерывного транспорта требуют больших размеров технологического отхода, срока монтажа; возникают проблемы при размещении и перемещении в криволинейных выработках (сбояках, пересечении выработок). Обоснованием выбора технического решения (схемы) могут служить показатель транспортного потока и минимальные значения критерия оптимальности экономических показателей.

Литература

1. Тарасов Ю. Д., Коптев В. Ю. Горно-транспортные машины периодического действия: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб. : СПГГУ, 2012. 132 с.
2. Коптев В. Ю. Горные машины и оборудование // Проектирование схемы транспорта при проведении горных выработок и строительстве подземных сооружений. СПб. : СПГИ, 2003. 45 с.

3. Кузьминич В. А., Горшков М. Д., Грауле Д. В. Прогрессивные технологические схемы проведения горных выработок. Новокузнецк, 2000.

4. Концепция развития очистного, проходческого, конвейерного и бурового оборудования до 2020 г. / Ю. Н. Ленник, И. С. Крашкин, В. Г. Мерзляков и др. // Горные машины и автоматика. 2006. № 2. С. 2–12.

5. Очкуров В. И. Комбайновая технология проведения горизонтальных выработок. СПб. : СПГГИ (ТУ), 2010. 116 с.

6. Тарасов Ю. Д. Транспортные машины непрерывного действия: Учеб. пособие. СПб. : СПГГУ (ТУ), 2009. 144 с.

7. Тенденции развития конструкций и эксплуатации современного горнопроходческого оборудования / В. Г. Черных, Г. Ш. Хазанович, Э. Ю. Воронова и др. // Горная техника. 2012. № 2. С. 8–11.

АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В сфере энергетики продолжено рассмотрение взаимосвязи нефтегазового бизнеса и международных проектов долговременного хранения ядерных материалов. Представлены российские варианты создания ядерных хранилищ и сопутствующих геологических оценок. В частности, для Северо-Запада России.

Ключевые слова: ядерная энергия, углеводороды, ядерные отходы, международные хранилища, никель, образ SAMPO.

Summary. This paper presents further consideration of the following interrelation in the energy production sphere: oil and gas business and international projects on the long-term storage of nuclear materials. There are discussed some Russian versions of construction of nuclear depositories as well as corresponding geological assessments. In particular, for the North-West Russia.

Keywords: nuclear energy, hydrocarbons, nuclear waste, international depositories, nickel, the SAMPO image.

Международные обстоятельства и потребности

Комплексные интересы Германии на Севере Европы (прежде всего на европейском севере России) в сфере энергетики сосредоточены в основном вокруг двух проблем — газа Штокмановского месторождения и долговременных хранилищ ядерных материалов. В перспективе ядерное хранение имеет мотивацию трансформироваться в прямое захоронение. Эти интересы и проблемы определяют и соответствующие ракурсы, прежде всего российско-германской интеллектуально-прагматической деятельности в регионе. Определенным благом для региона является то, что международную деятельность сейчас можно фокусировать через «оптику» важных исторических событий и тенденций.

«Местной» предпосылкой развертывания полномасштабных исследований в обозначенной сфере может быть, в частности, необходимость определить судьбу содержимого построенного Германией временного наземного хранилища реакторных блоков (потенциально, и части ядерного топлива из трюма плавучего хранилища «Лепсе») в Сайда Губе после окончания проектного срока его эксплуатации, а также нынешние научные связи Геологического института Кольского НЦ РАН с Фрайбергской горной

академией и предшествующие российско-германские исследования сверхглубоких скважин.

Как уже отмечалось, попытка осмысления международными усилиями проблемы долговременного хранения ядерных материалов полезна через призму образа SAMPO ([1]; <http://www.vaasapages.com/pics/art/AkseliGallenKallela/ForgingTheSampo.JPG>). В контексте нераспространения. И не только теоретически. И в том смысле, чтобы сферы влияния ядерных и нефтегазовых объектов, крупных транспортных узлов в идеале территориально не перекрывались. Сопутствующая шельфовой, например, береговая инфраструктура при разработке Штокмана запланирована от Кольского залива до Териберки. Навеянная карело-финским эпосом аббревиатура SAMPO в общечеловеческом смысле интерпретируется как Special Anthropic Mission — the Power (Prometheus) Obedience. Есть и региональные варианты для осмысления действующих или гипотетических ядерных объектов. Например, Scandinavian (or Slavic, Saida, Severodvinsk, Siberian, Streltsovsky, Semipalatinsk, Sarov, Seversk, Slavutich) Atomic Mission — the Proliferation's Oikumene.

Ситуацию «подогревает» решение Б. Обамы через 22 года с начала строительства и после затрат в 9 млрд дол. (десятая часть общей сметной стоимости) прекратить реализацию вблизи полигона Невада проекта «путевойной звезды», прототипа многих подобного рода строек — национального хранилища высокоактивных материалов Yucca Mountain. Кроме того, не следует забывать о появившихся ранее в условиях глобализации мировой экономики идеях и проектах интернационализации последней стадии обращения с ядерными отходами, их надежной изоляции от биосферы на периферии стран. Возникают конкретные вопросы: как и где? Особенно после вступления в силу американо-российского Соглашения № 123 (2010 г.), открывающего странам возможность «обмена» ядерными материалами. Практически единодушно на международном уровне при оценке рисков одним из критериев безопасности атомной отрасли выставляют количество мест хранения ядерных материалов — чем меньше мест хранения, тем выше уровень безопасности (<http://www.sibghk.ru/wps/wcm/connect/ghk/site/news/enterpriseNews/822fe38049d072de9c28dc3d902053fb>). Директива ЕС по обращению с ядерными отходами (2011 г.), которая в свете реакции на японские события обязала стран-участниц к 2015 г. разработать планы захоронения, ориентирует на подземную изоляцию и благосклонна к возможности экспорта отходов. В Западной Европе идею международной кооперации применительно к подземной изоляции ядерных материалов активно развивает the Association for Regional and International Underground Storage.

Одним из авторов работ, способствовавших отмене некачественного с научной точки зрения проекта подземного ядерного хранилища Yucca Mountain, является геолог (инженерная геология и гидрогеология, низкотемпературные гидротермальные процессы, изотопные исследования, а

также история и прогнозы относительно четвертичного периода) и спелеолог Ю. В. Дублянский (Juri Dublyansky, www.uibk.ac.at). Его общая эрудиция и специальные знания значимо повлияли на формирование решения ведущей ядерной страны относительно места размещения природно-техногенного, с элементами самоорганизации объекта, безопасно функционировать который по нормативам должен не менее 10 тыс. лет. А косвенно возможно ожидать отложенное влияние на общечеловеческое будущее ядерной проблематики. Он, кроме того, нелицеприятно охарактеризовал стиль собственных геологических обоснований таких объектов российскими и американскими ядерными ведомствами и финансированием ими независимых оценок.

После закрытия проекта Yucca Mountain, фукусимской катастрофы и приостановки эксплуатации ряда АЭС Японии и других стран обострились споры по главному вопросу ядерных технологий — о судьбе выведенных из оборота гражданских и военных ядерных материалов, в том числе в контексте ядерного терроризма (belfercenter.ksg.harvard.edu/.../Joint-Threat-...). Также возможен возврат интереса к небольшим подземным АЭС или гибридам подземной АЭС и подземного хранилища. Впрочем, и до Фукусимы, но тогда в одиночестве, Франция озвучила революционную идею — развивать собственную масштабную ядерную энергетику по укороченному разомкнутому топливному циклу (АЭС с реакторами на тепловых нейтронах) на основе использования подземного пространства страны как системобразующего природного ресурса и новейших компактных систем производства пара (http://www.t3000.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=27). И приступила к ее реализации.

Трагедия Фукусимы, начало которой положил геологический процесс, разом обнулила смысл разумных затрат при строительстве, которые были призваны комплексно обеспечить безопасность и экономичность станции в классическом исполнении. Не пришло время объективно оценить «космические» затраты на ликвидацию последствий этой трагедии. Хотя уже показано, например, что совокупное негативное влияние японских событий на некоторые показатели мировой экономики оказалось не меньше, чем при глобальном финансовом кризисе (<http://www.iep.kolasc.net.ru/news/news141112011.php>). А ядерная составляющая этих событий, особенно в долговременном ракурсе, является едва ли не самой значимой. Напомним также, что в Японии внешних воздействий с катастрофическими последствиями не выдержали не только реакторы, но и приреакторные хранилища (бассейны выдержки) отработавшего ядерного топлива. Заслуживает внимания мнение, что вскрытая проблема серьезной уязвимости хранимого топлива — главный урок Фукусимы ([2]; <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/12/02/29238>).

В Японии и странах Тихоокеанского бассейна отныне заново не раз подумают о принципиальной возможности долговременного хранения и за-

хоронения ядерных материалов в регионах субдукционного взаимодействия литосферных плит, опасаясь перспективы периодических вбросов техногенной радиоактивности в океан. Калифорнийский желоб и Йеллоустонский мегавулкан могут мотивировать интерес США и Канады к более спокойным регионам планеты (например, к Северо-Востоку России). Фукусимская катастрофа не прошла бесследно и для шведов. Известнейший проект шведского оператора по обращению с ядерными отходами SKB, предусматривающий строительство подземного национального ядерного хранилища вблизи АЭС Оскарсхамн и разрабатываемый три десятилетия, приостановлен в марте 2011 г. Надзорная инстанция уже объявила о созыве международной экспертной комиссии, которая проверит, как именно будут утилизировать отходы под землей. Видимо, строительство подземного шведского хранилища может быть отложено на неопределенный срок [3]. А проект SKB — мировой лидер в своей «нише» наряду с Yucca Mountain и финской разработкой. Причем финны, похоже, после Фукусимы не только не приостановили свой проект подземного национального ядерного хранилища Олкилуото (Онкало), но и переводят захоронение в нем в категорию международного бизнеса, подкрепляя тем самым свое решение о строительстве новых АЭС исключительно для экспорта электроэнергии в Германию (http://www.bbc.co.uk/russian/international/2011/07/110701_5thfloor_nuclear_waste_docu.shtml, http://www.rg-rb.de/index.php?option=com_rg&task=item&id=1854&Itemid=13).

Необходимо учитывать явное стремление западных стран повысить контроль над легкодоступными углеводородами Ближнего Востока и Африки. Грядут также серьезные изменения на рынке, обусловленные сланцевым газом (см., например, <http://energyfuture.ru/slancevyj-gaz-gorkaya-realnost-dlya-gazproma-2>). Найдены месторождения нефти абиогенного происхождения, что существенно укрепляет позиции зарубежной углеводородной энергетики. Вследствие этого внимание Запада к некоторым российским нефтегазовым регионам с суровым климатом может временно уменьшиться. Необходимо учитывать и «постфукусимское цунами» решений о закрытии европейских АЭС. Например, в Германии, где глобальной значимости решение было принято по результатам работы специально созданной после Фукусимы Комиссии по этике (!), состоящей из представителей не только инженерных и естественных наук, но и гуманитарно-духовной сферы. Логическим продолжением этих шагов следует считать меры по сверхплановому демонтажу станций с наработкой больших объемов дополнительных отходов. Выход Германии из атомной энергетики сравнивают по комплексу условий в целом с программой полета первого человека на Луну (<http://www.rbcdaily.ru/2012/08/21/world/562949984557410>). Кроме того, европейские ядерщики будут искать работу в Китае или России. Кстати, это соответствует общей стратегии, например, Германии в части международного разделения труда, при котором тяжелая промышленность и опасные виды производства переносятся в развивающиеся страны, а внутри Герма-

нии стимулируется современная наукоемкая промышленность, относительно малозатратная по ресурсам.

Подходы России, Украины и Казахстана

Осмысление SAMPO & Co. может способствовать формированию составной усиливающей части региональных и общероссийских программ создания технологической платформы «Инфраструктура Арктики». Особенно сегодня, когда независимые оценки ([4,5]; участники телепередачи «В фокусе» на канале РБК от 9 марта и 23 марта 2011 г.; <http://www.iep.kolasc.net.ru/news/rezolution2011.doc>) показывают отсутствие стабильной и позитивной тенденции относительно развития нефтегазового бизнеса на шельфе Арктики. Как и реалии неудач в 2011 г. попыток России завершить многолетнюю подготовку контрактов на поставку газа в Китай, Роснефти найти партнеров для работы в Арктике и Газпрома наконец-то обнародовать план инвестиций в Штокман. А также (на примере проектов «Сахалин-1,2», [6]) приводят к выводу, что надежды на привлекательность освоения шельфа и для сухопутной экономики сопряженного региона не всегда сбываются. В отчетном докладе А. Миллера за 2010 г. Штокман упомянут лишь для спокойствия акционеров в части стратегической обеспеченности Газпрома запасами на далекое будущее, а не как объект реального развития. Эти оценки не противоречат показателю «от народа»: жителей Мурманской области стало меньше, а разведчики шельфа Баренцева моря в других водах ищут работу.

Весьма важно, что не могут избавиться от пессимизма в отношении Штокмана и региональные представители интеллектуальной элиты — ученые Кольского НЦ РАН и молодежное правительство Мурманской области (<http://murmansk.livejournal.com/580208.html>; <http://www.zaks.ru/new/archive/view/86149>; <http://www.rg.ru/2011/11/18/reg-szfo/young-anons.html>; <http://blogger51.livejournal.com/768941.html>). В. В. Путин в телевизионном эфире 9 февраля 2012 г. признал, что факты переноса сроков реализации этого проекта имеют серьезные причины, которые пока актуальны (<http://investcafe.ru/news/17117>; <http://www.oilru.com/news/302914/>).

Более того, в 2012 г. Газпром по главным контурам проекта вернулся как бы на несколько лет назад, на начальную стадию выбора компаньонов и приоритетной схемы транспортировки газа на фоне кардинальных изменений, прежде всего газового статуса США. В свое время Саудовская Аравия резко и надолго снизила мировые цены на нефть с известными последствиями для СССР. Не исключено повторение демпинга цен, но уже на газ.

В Мурманске зреет идея увековечить Штокман в памятнике подобно тому, как в иных краях чтят мифы о Чижике-Пыжике и других любимых «явлениях народу». Тем более, что в августе 2012 г. принято решение законсервировать месторождение на неопределенный срок.

Россия имеет национальное наземное долговременное хранилище плутония на площадке ПО «Маяк». Связанные прежде всего с высокой концентрацией «порождения бога царства мертвых» на земной поверхности, потенциальные опасности глобального уровня неоднократно обсуждались (например, <http://nuclearno.ru/text.asp?15383>). В России реализована неоднозначная по результатам технология подземной изоляции жидких радиоактивных отходов в пластах-коллекторах (Северск, Железногорск, Димитровград).

Россия желает строить на своей территории международные ядерные хранилища подземного типа для твердых (с долгоживущими и высокоактивными изотопами) материалов. Тем более теперь, когда после Фукусимы ожидаемая зарубежная прибыль Росатома от строительства АЭС может устремиться к нулю, а от демонтажа АЭС с наработкой отходов — возрастать. В политическом плане страна приобретет весомую роль при решении проблемы ядерного нераспространения (и материалов, и технологий), а также диверсифицирует свою экспансию в сфере энергетики, дополнив имеющуюся инфраструктуру и спектр услуг углеводородной и ядерной энергетики ключевым, финальным, звеном ядерного топливного цикла.

В начале этого цикла уже все как будто хорошо — производство свежего топлива для атомных станций мира сейчас становится отдельным бизнес-направлением российской атомной корпорации (<http://expert.ru/2011/12/14/atomnyij-kart-blansh/>). США давно в этом бизнесе. Смущает одно, но важное обстоятельство — нет пока внятного объяснения для пользователя относительно судьбы российского топлива после его службы в зарубежном реакторе. Не каждый зарубежный партнер воспользуется российским предложением по свежему топливу, если «в начале пути» будет известно, что отработавшее топливо предусмотрено перерабатывать. Кроме того, отработавшее топливо большинства АЭС мира, свежим поставленное из США (эта страна жестко выступает против переработки), с трудом будет пробиваться на российский рынок хранения, если будет хотя бы гипотетическая возможность когда-то его переработать на расположенном вблизи радиохимическом производстве (например, на Красноярском ГХК).

Нацеленность на международные хранилища формировалась задолго до Фукусимы. Проблему применительно к России более 10 лет совместно исследуют на уровне официальной комиссии академии наук РФ и США. Начата подготовка законодательной базы, в 2002 и 2005 гг. в Москве под эгидой МАГАТЭ прошли международные конференции по этой теме. Создан системный интегратор по сервисному обслуживанию зарубежных АЭС — ЗАО «Русатом Сервис». Росатом считает, что задачу обращения с радиоактивными отходами и облученным ядерным топливом можно в ближайшее время решить в рамках международной кооперации (заявил заместитель генерального директора российской атомной госкорпорации А. Локшин на V международном форуме «АТОМЭКО-2011»). На АТОМЭКСПО-2012 лидеры го-

ворили об интегрированном пакете российских ядерных услуг глобальному рынку (<http://www.itar-tass.com/c16/440275.html>; <http://www.itar-tass.com/c19/439942.html>).

Действия российских властей противоречат неоднократно озвученным намерениям поддерживать и развивать в стране замкнутый ядерный топливный цикл [7]. Похоже, причина не только в собственно реакторных и химических технологиях, но и в неудовлетворительной экономике этого, еще и недружественного природе пути. Кроме того, видимо, ядерное оружие, для получения начинки которого во многом и была создана радиохимическая промышленность, выводят из сферы реальной российской политики (<http://www.ej.ru/?a=note&id=12162>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2896>). При отказе от радиохимической переработки отработавшего топлива или резком сокращении объемов такой переработки главной становится задача его долговременного хранения. Россия желает иметь хранилища третьего (высшего) уровня, дополняющие систему хранилищ федеральных и региональных. Все чаще, в том числе и на самом высоком административном уровне, говорят о приватизации отдельных структур Росатома.

Хотя политическая воля к созданию международных ядерных хранилищ (могильников) достаточно определенно проявлена многими странами, конкретные юридические, финансовые и экономические механизмы этого еще предстоит создать. В том числе и по части сбалансирования в России интересов общефедеральных и того региона, где объект будет создаваться. Видимо, как аналог будет принята схема практической реализации соглашения между МАГАТЭ и Россией (2010 г.) о создании первого в мире международного банка свежего ядерного топлива. Приветствуется и критическая правовая позиция относительно международных хранилищ (например, <http://www.dissercat.com/content/problemy-pravovogo-regulirovaniya-obrashcheniya-s-radioaktivnymi-otkhodami>; <http://www.barentsinfo.org/?DeptID=3549>), способствующая полной оценке ситуации. Необходимо также выработать социокультурные (светские и религиозные) основания и критерии таких действий — например, на базе философского наследия Ф. М. Достоевского (<http://www.lawinrussia.ru/node/164207>), с привлечением идей геоэтики и других элементов духовно-гуманитарных начал безопасности. Так называемый индекс безопасности ядерных материалов Фонда «Инициатива по предотвращению ядерной угрозы» (Nuclear Threat Initiative) предусматривает (для сравнения) анализ условий хранения и обращения с ядерными материалами в странах мира не только в плоскости военно-технической, но и социокультурной — от прошлого к будущему (<http://www.arms-expo.ru/050049054050124050054055048055.html>).

Вариантами площадок размещения международных хранилищ в России, наиболее официально «продвинутыми», без нового комплексного анализа и дополнительных обоснований традиционно для ядерной отрасли «состыкованными» с объектами наследия «холодной войны», являются

пока площадки вблизи Красноярска, Челябинска и границы с Китаем и Монголией (Краснокаменск). При этом преобладает выбор площадок в зонах палеовулканов (как и в случае Yucca Mountain). Что касается Краснокаменска, то здесь интерес проявлен к эксплуатирующемуся и крупнейшему в России Стрельцовскому рудному полю на уран, в пользу которого говорит наличие инфраструктуры горных выработок. Хотя приоритетные для исследований площадки уже «назначены», даже лояльный к ним анализ (ИГЕМ РАН [8]) геологической ситуации на базе чрезвычайно слабой разведки закончился признанием, что Россия находится на начальной стадии реализации таких программ и принимать решения о пригодности площадок преждевременно. В Казахстане и Украине планируют подобные объекты на территории соответственно Семипалатинского полигона, на котором задействованы охранные технические системы США (<http://nuclearno.ru/text.asp?15384>), и Чернобыльской зоны.

Важно помнить, что военно-промышленные ядерные объекты СССР, к которым теперь в России и Казахстане «привязывают» международные подземные ядерные хранилища, размещались (прятались в глуши, подальше от врагов) примерно 60 лет назад в полной конфронтации с Западом далеко не по геологическим и экономическим критериям. За исключением урановых горно-обогатительных предприятий, но и в этом случае первоначальные геологические задачи коренным образом отличались от таковых при обосновании места нахождения хранилища. Безопасность же геологических (так их еще называют) хранилищ в течение тысяч лет детерминирована прежде всего качеством породных массивов (механическая устойчивость и способность изолировать радионуклиды, в том числе и на основе природных процессов, аналогичных гидротермальному рудообразованию), а также комплексом геологических, геофизических, гидрогеологических и геохимических условий их длительного существования. Да и социально-политическая обстановка «на дворе» совсем другая, и некоторые границы, дальше от которых старались разместить ядерные объекты, изменились. Прежними (в глобальном смысле) остались лишь речные системы Тобола, Иртыша, Оби и Енисея, все эти годы испытывающие радиационные нагрузки прежних обстоятельств и принудительно «сосватанные» для новых. В некоторой степени ситуация аналогична и для украинского Днепра.

Заботу о национальной безопасности и безопасности ядерных объектов никто не отменял. Но сейчас нужен новый баланс политических, экономических, геологических и других оснований. Применять в новое время и для новой задачи прежний подход — ошибка. Поэтому первые (возможно, и ключевые) аргументы при подземной изоляции ядерных материалов относительно места и технологии хранилищ, наряду с политическими и экономическими, должны быть за международной геологией и базироваться на результатах международных комплексных геологических проектов. Например, Е. Б. Андерсон, В. Г. Савоненков и С. И. Шабалев (Радиевый институт, [9]) как идеологический постулат отмечают прерогативу наук о Зем-

ле при обосновании безопасности удаления ядерных материалов в геологические формации. Кроме того, они применительно к Северо-Западу России подчеркивают важность вспомогательного использования обильных материалов предшествующего (для других целей) геологического изучения региона. Прежде всего полученных на многолетних этапах поиска, разведки и добычи различных полезных ископаемых. Это аналог попутных массовых поисков урана. Подобные подходы не новы, но они с трудом приживаются в реальной практике геологов российской (и не только) ядерной отрасли.

После уроков Фукусимы в стенах Национального ядерного университета МИФИ сформирован важный посыл: первоочередным считают ядерно-геологический симбиоз на международной основе. «Задача заключается в том, чтобы установить для площадки АЭС соответствие между уровнем природных рисков и объемом мер, необходимых для обеспечения должной степени безопасности. При этом такая оценка должна быть дана на основе единой общепризнанной методики (которую также еще предстоит создать) группой квалифицированных экспертов при неременном соблюдении принципа интернациональности ее состава. В то же время упомянутая методика должна содержать критерии безусловной непригодности какой-либо площадки (или даже региона) для сооружения и эксплуатации атомной станции» [10]. Добавлю, что позиция интернационализации еще более актуальна при выборе площадки и создании ядерного хранилища.

Справедливости ради надо отметить, что тезис о важной роли геологов при обеспечении безопасности ядерных объектов не связан только с Фукусимой (www.rae.ru/snt/pdf/2005/2/4.pdf; http://www.roninfo.ru/publ/intervju/ehkologicheskaja_bezopasnost_obektov_rosatoma_v_rukakh_geologov/3-1-0-5). Причем, если российские наука и промышленность в целом уже не могут самостоятельно или в качестве лидера решать глобальные проблемы (<http://proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3594>), то горно-геологическая отрасль, пожалуй, еще способна это делать в своих рамках и при наличии денег. Тем более что и со стороны специалистов ядерной отрасли интерес к созданию, например, по аналогии с объектами древности природно-техногенных систем захоронения ее отходов возрастает (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3756>), в том числе из-за объективных трудностей при реализации генеральной концепции развития российской ядерной энергетики (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=1656>; http://www.t3000.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=27). Эти трудности могут нарастать, если все явственнее будет обозначаться необходимость закрытия (не исключено — аварийного) станций с реакторами РБМК начиная с Ленинградской АЭС (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3974> и другие статьи на сайте *ПРОАтом* по теме РБМК). Под влиянием различных экономических взглядов в недрах про-

фильных вузов также рождаются и иные, отличающиеся от официальной стратегии Росатома, мысли (<http://www.slideshare.net/budanivan/ss-13269425>; <http://budanivan.livejournal.com/186282.html>).

В последние годы российскому Сарову и американскому Лос-Аламосу неоднократно смертельно угрожали катастрофические лесные пожары. С. В. Кириенко в июне 2011 г. сообщил (Госссовет по модернизации при Д. А. Медведеве), что Росатом внедряет идеологию прогноза и мониторинга условий существования АЭС по всему жизненному циклу (более 100 лет), включая стадию снятия станций с эксплуатации (демонтажа) после длительной выдержки. Будет справедливо, если аналогичный подход применят к объектам хранения (захоронения) ядерных материалов (тысячи (миллионы) лет). В таких случаях без наук и практических знаний о Земле точно не обойтись.

Потенциал российского Севера

На Северо-Западе России проектировщики Росатома (Минатома) последовательно рассматривали в качестве изолирующей геологической среды для ядерного хранилища (пока официально лишь регионального) многолетнемерзлые известняки полигона Новой Земли и залежи солей Республики Коми [11]. Кстати, в Ухте работает известный в радиозоологии геолог В. А. Копейкин, имеющий серьезные наработки применительно к геохимическим барьерам защиты от распространения радионуклидов, возглавлявший несколько самых тяжелых лет рабочую группу Мингео СССР в Чернобыле. Видимо, и это обстоятельство в череде других обусловило «дрейф» интереса Росатома от Новой Земли к геологическим структурам Коми.

Предложение Горного института КНЦ РАН — Сайда Губа. Хотя и без того беда все ближе к Мурманску («столице Заполярья»), если вдуматься в динамику событий: аварии АПЛ Северного флота далеко от родных берегов — «Комсомолец», «Курск», «Екатеринбург». Второй вариант такого объекта (Дальние Зеленцы) предлагается учеными «под боком» у будущей инфраструктуры Газпрома [12]. Обе площадки принадлежат финнамурманской сейсмогенной зоне (www.geotochka.ru/SVAROG2012/SVAROG2012_OVOS.pdf). Возможно, нацеленность этих предложений на потенциальных потребителей по одному из вариантов подскажет статья В. А. Перовского с красноречивым названием «Где взять радиоактивные отходы для Сайды?». Автор показывает многократную избыточность возводимых Германией в Сайда Губе мощностей по переработке отходов, если ориентироваться на поставки только северных флотов [13].

Примем во внимание, что с 2011 г. начато проектирование функционально аналогичного комплекса переработки радиоактивных отходов и накопительной площадки временного хранения контейнеров в Губе Анд-

реева (финансирование Италии). Анализ (<http://proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3670>) истории реабилитации одноименной береговой базы ВМФ показывает следующее: за почти 20 лет развития базы под международным контролем темпы и общие объемы вывоза радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива с базыкратно уменьшились по сравнению с советским периодом, когда эта функция, кстати, не являлась главной. С. В. Кириенко заявляет о практически полном и успешном завершении основных работ (умалчивая об их сути), хотя основные работы по разгрузке хранилищ и не начинались. Авторы анализа (В. А. Перовский и А. А. Аникин) вынуждены предположить: процесс реабилитации базы затянут, причем сознательно. Добавлю: чтобы сохранить имевшиеся предпосылки и создать благоуханную территорию для дальнейшего развития в прежнем направлении обновленного объекта перевалки и временного хранения ядерных материалов, но другой генерации.

Росатом и Германия планируют кооперацию в использовании редкоземельных металлов Мурманска (Российско-Германский сырьевой форум, Мурманск, октябрь 2011 г.), что породит новый источник радиоактивных отходов. Кольские ученые прицениваются к вариантам компоновки объекта подземной изоляции для шведского отработавшего ядерного топлива, используя российские показатели стоимости (значит, и технологий) горных работ (vestnik.mstu.edu.ru/v13_5_n42/articles/07_amosov.pdf). Существуют и другие признаки того, что на Северо-Западе России дело региональным хранилищем не ограничится.

Если существуют задумки, хотя и слабо озвученные, уважаемых российских ведомств и их зарубежных партнеров относительно международных подземных ядерных хранилищ на территории России, то нелишним было бы научно-техническому сообществу обсудить их полно, комплексно, не только на официальных слушаниях Росатома, не боясь повторов (предстоящие тысячи лет того требуют). Совместно со светскими и религиозными гуманитариями.

Альтернативой официальным площадкам Росатома (Дальним Зеленцам и Сайда Губе — «спарринг-партнерам» при дискуссиях) является Печенга (Печенгская геологическая структура — одна из наиболее исследованных в мире и ее обрамление). Она удалена как от западноевропейской, так и азиатской радиохимической промышленности. Вулканологи обосновывают наличие в глубинах Печенги позитивных для изоляции ядерных материалов процессов современного минералообразования [14]. На «ядерный» потенциал этой структуры обращали внимание сотрудник ВНИПИЭТ В. А. Перовский [15], мурманские геологи-производственники (Н. И. Бичук, В. Г. Зайцев, Г. С. Мелихова и др. [16]), специалисты Петербургского университета А. С. Сергеев и Р. В. Богданов [17], а также руководители Геологического института КНЦ РАН (Ф. П. Митрофанов), Кольской сверхглубокой скважины (Д. М. Губерман) и Ярославской экспедиции сверхглубокого бурения «Недра» (Л. А. Певзнер). Равно как и SKB, МНТЦ и The

UNESCO International Geological Correlation Programme [18,19]. Причем, пожалуй, геологические условия Печенги (как и Краснокаменска) не только альтернативны, но и по большому счету являются интеграционными относительно концепций хранилищ в гнейсах и гранитах (Швеция, Финляндия, Красноярский край, Сайда-Губа и Дальние Зеленцы) и вулканогенно-осадочных породах (Yucca Mountain, Челябинская область).

Вблизи Печенги сосредоточены силы и средства для профессионального выполнения геологических, горных и радиационно (ядерно) опасных работ. При геологическом, экономическом и политическом приоритетах выбора Печенга дает возможность развивать ядерную компоненту объекта не с нуля. Действуют аналог ядерных подземных сооружений (рудник «Северный-Глубокий»), потенциальное место реализации технологий котлованного («курганного наоборот») создания ядерных могильников (карьер «Центральный»), единая технологическая система обозначенных выработок (<http://www.interros.ru/050055052053124053054057057/>), а также предтеча Фукусимы относительно аварийных хранилищ отработавшего ядерного топлива (инфраструктура Губы Андреева). Кстати, проблему отходов при демонтаже Кольской АЭС по аналогии с «курганной наоборот» технологией могло бы решить использование одного из карьеров Ковдора, Оленегорска или Хибин (см. также примеры технических решений приложения 2 работы [20]). Хибиньки назывались в качестве претендента на такое будущее и другими (future-designing.org/download.php?d=95&is=doc).

Уже существующий геоядерный кластер «Печенга» упростит и удешевит как реализацию опережающих исследований (подземная лаборатория), так и создание производственного комплекса хранилища. Seriously способствует на базе международной и общедогадеральной выгоды экономической и технологической переориентации Мурманской области. Он также в полной мере соответствует междисциплинарному и междотраслевому духу, некоторым конкретным позициям Указа Президента РФ (2011 г.) о приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники, тенденциям вхождения горной отрасли и науки в технолого-финансовые комплексы более высокого уровня (<http://miningexpo.ru/news/19613>). Кроме того, Печенга не принадлежит территории формирования великих речных систем Евразии.

Здесь имеются примеры плодотворного международного сотрудничества в сферах геологии (Кольская сверхглубокая скважина), экологии (заповедник «Пасвик»), хозяйственной деятельности (гидроэлектростанция на реке Паз), технологии (реконструкция плавильного цеха комбината «Печенганикель»), культуры (энциклопедия «Печенга»), спорта (массовый лыжный марафон по приграничной территории России, Финляндии и Норвегии) и др. Наличие в приграничных окрестностях Трифионов Печенгского монастыря потенциально благотворно. Необходимое дополнительное геологическое осмысление феномена ядерной энергии в его гражданском и военном проявлении с позиций православия и других религиозных

конфессий, плодотворное сочетание физики и метафизики получит еще одну мотивацию и новую возможность. По примеру мнений основных мировых религий относительно ядерного оружия в книге «Ethics and weapons of mass destruction: religious and secular perspectives». Планируют создать международную Поморскую экономическую зону. Специалисты КНЦ РАН занимаются не только геологией Печенги, но и разработкой экологических барьеров на основе местного природного и техногенного сырья, в том числе в рамках программ Центра исследования микро- и наноматериалов.

Геологическая документация, каменный материал и во многих случаях доступная (или потенциально доступная) до сих пор натура по Кольской сверхглубокой скважине, десятку открытых и подземных рудников, тысячам разведочных скважин (глубиной от первых метров до первых километров) наземного и подземного заложения. Они совместно с собственно наземными исследованиями и глубинным зондированием с земной поверхности (включая методы на основе мощных источников электромагнитного излучения) открывают уникальные, единственные для Земли возможности, а именно, перекрестно разными инструментальными методами, в разных ракурсах и масштабах, дополнительно и надежно, в свете новой глобальной задачи, изучить геопространство печенгской структуры применительно к типам пород, условиям и месту их залегания.

Следует сказать, что в породах Печенги, где возможна материализация одного из вариантов SAMPO (в виде подземной АЭС или хранилища), российскими и норвежскими геологами найдены окаменелые образцы древнейших, возрастом более 2 млрд лет, микроорганизмов (*Pechengia melezhiki*) — микроорганизмов, сформировавших на Земле важнейшие условия для будущей биологической эволюции (развития на кислородной основе) вплоть до высших форм. Эти сохранившиеся до наших дней окаменелости, видимо, можно считать признаком региональной геологической долговременной стабильности, столь необходимой ядерным объектам, своеобразным талисманом-оберегом, а сочетание открытия *Pechengia melezhiki* с SAMPO — символом трансформации и преемственности энергетики жизни.

Не добрые ли это знаки, учитывая, что по преданиям в свое время в «пещерах» «утеса из меди» Печенги было создано Сампо «Калевалы»? И не подсказка ли это к объединению на этой площадке усилий, и не только геологов? К объединению усилий, для начала хотя бы упомянутых специалистов и организаций. При «перезагрузке» на Печенгу финансирования от Yucca Mountain, Новой Земли и других подобных проектов, не имеющих научных и социокультурных оснований, не выдерживающих испытания временем. Чтобы надежно под землей экранировать источник электроэнергии (в случае АЭС) или (в случае хранилища) искусственные, комплексно насыщенные газами гидротермы, неизбежно возникающие в породах, в которых надолго размещены высокоэнергетичные радиоактивные материалы (или радионуклиды гидротерм).

Международное хранилище «Печенга/SAMPO» позволит «никогда больше» не допустить тех условий работы персонала, которые были на Кольском полуострове (<http://andreeva.lgb.ru/index.html>), или подобных им, которые могут сложиться при исключительно российском ведении дел, хотя и в новых временных рамках.

Одним из важных аргументов против Печенгской геологической структуры и ее обрамления формально может быть то обстоятельство, что здесь в настоящее время ведется добыча медно-никелевых руд. Этот аргумент (как и против Стрельцовского рудного поля, Краснокаменск) есть производное от рекомендации (не более того) МАГАТЭ избегать изоляции ядерных материалов в зоне месторождений полезных ископаемых. Однако в случае Печенги совместный, внимательный и объективный анализ текста этой рекомендации и конкретных горно-геологических и экономических условий работы хозяйствующего субъекта (компания «Норильский никель») приводит к выводу, что факт более чем семидесятилетней истории изучения и освоения медно-никелевых (сульфидных) месторождений Печенги является не осложняющим, а благоприятствующим фактором. Учитывая, кроме всего прочего, и перспективу на 50–100 лет. Это время принятой в мире стратегии временного (отложенного) хранения ядерных материалов в наземных хранилищах.

Опыт США, Канады, Швеции, Финляндии и других стран (более продвинутых в программах создания подземных ядерных хранилищ, чем Россия) показывает, что и за 30–40 лет необходимых научно-технических и производственных работ ни одного подземного хранилища еще не создано. В перспективе таких интервалов запаса времени до загрузки хранилища ядерным содержимым рассматриваемые месторождения будут гарантированно полностью отработаны, как отработана никелевая руда Мончегорска. Хотя и сейчас возможно выбрать перспективные участки требуемых размеров заведомо вне проявлений никеля (или, как расплывчато сказано в упомянутой рекомендации МАГАТЭ, «не вблизи месторождений»), с высокими гидроизолирующими свойствами [16] и не в тектонически-напряженных массивах (А.В. Ловчиков: [21]; <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/3833.html>).

Никель из недр Печенги как явление на наших глазах становится историей. Функционирование же никелевой металлургии на Кольском полуострове продолжится, но за счет привозных полуфабрикатов, например, из Воронежской области.

В рудниках Печенги нет той природно-техногенной сейсмичности, которая стала серьезной негативной проблемой при эксплуатации подземного пространства Хибинского и Ловозерского массивов. К слову, месторождение «Антей» (Краснокаменск) расположено в тектонически-напряженном массиве, где вмещающие породы (граниты, в которых предполагается строить подземное ядерное хранилище) склонны к хрупкому разрушению и являются потенциально удароопасными [22]. Геодинамические опасно-

сти при разработке гидротермальных месторождений Стрельцовского рудного поля требуют постоянного внимания, исследования и дополнительных затрат при ведении горных работ (geoprotection.narod.ru/genesis/kotenko.doc; И. Ю. Рассказов — www.misd.nsc.ru/print/?page=310094; sia.ru/disclosure/7530000048/qreport028.rtf; zakupki.rosatom.ru/file.ashx?oid=46877; www.credo-dialogue.com/.../Tsifrovye-tehnologies-trehmernogo-...; www.spmi.ru/download/zgi/188/t188_rasskazov3_r.htm; www.igem.ru/site/seminars_09/rg_seminar/statia_rus.pdf). Пример реальных разрушений — события марта 2012 г. на руднике «Глубокий».

На потенциальных площадках вблизи Красноярска сейчас затруднительно напрямую инструментально оценить напряженное состояние пород — только косвенно, через результаты натуральных наблюдений в подземных сооружениях Красноярского ГХК, принадлежащих другому массиву и удаленных от гипотетического хранилища примерно на 30 км, или путем математического моделирования [23, 24].

С 2000 г. в Сибири и на Дальнем Востоке многие регионы трясет, на Кольском полуострове тихо.

Именно Печенга максимально обеспечит выполнение этой рекомендации МАГАТЭ: известные месторождения исчезнут, а новые практически невероятны при высочайшей геологической изученности территории. Аналогия: в РАН (Н. П. Лаверов) такой же подход к Краснокаменску считают «единственно верным» (2011 г., <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=bb9c25dd-630b-4f87-8d3e-6fad9a0ba9ca>; 2005 г., newmdb.iaea.org/GetLibraryFile.aspx?RRoomID=694). Приаргунское производственное горно-химическое объединение может работать при существующих запасах урана 30–35 лет.

Вполне реальна перспектива международного геоядерного альянса на базе Росатома и Норильского никеля. Корпорации уже «породнились семьями»: с 2011 г. значительной частью атомных дел руководит бывший глава Кольской ГМК Е. В. Романов. Норникель расширяет свою базу на Мурмане (<http://helion-ltd.ru/news/10111-l-r-----/>). Не исключен (как минимум, для согласованных действий в энергетике и диверсификации активов компаний) и союз с Газпромом. Их кооперация компенсирует арктические углеводородные и другие затруднения, а также способствует формированию самостоятельной высокотехнологичной отрасли и международного технопарка, составной части базового пакета технологий для формирования национального (или международного — по примеру подземного хранилища семенного фонда Земли в Норвегии) резерва стратегических материалов на Севере России. Норильский никель, не осложняя свою деятельность, может рационально, заранее и с пользой продать горно-геологическую документацию и реальную инфраструктуру (в противовес бездарной потере Кольской сверхглубокой скважины), постепенно и вынужденно сводя к нулю добычу руды в окрестностях Приречного, Никеля и Заполярного, или

иначе участвовать совместно с Rosatom & Co. в новом освоении подземного пространства Печенгской (Стрельцовской) структуры, одновременно внося весомый многогранный вклад (как некую компенсацию за свои экологические прегрешения) в реализацию идеи «зеленых технологий».

При необходимости Норильский никель и на равноудаленном от западных и восточных поставщиков Таймыре найдет пригодные массив и (или) готовые выработки для хранилища, дополнительно изолированные покровом многолетнемерзлых пород, или на Северо-Востоке России. Удачным сочетанием для любых сценариев будущего ядерной энергетики могут стать подземное хранилище вблизи Норильска и уже действующее наземное хранилище Красноярского ГХК. Люди Норильского никеля занимают ключевые административные посты не только на Таймыре, но и на Кольском полуострове. В свою очередь атомный ледокол «Ямал», демонстрируя в июле 2011 г. стремление Росатома закрепиться в высоких широтах, катал по легендарной трассе — приобщал к реальности — участников Международной конференции «Северным морским путем к стратегической стабильности и равноправному партнерству в Арктике».

Вместо заключения

Романтическое время, когда почти в каждой стране допускалось иметь собственный «ядерно-свечной заводик» полного цикла, закончилось. Не получилось порознь у СССР и Японии (отчасти и у США) обойтись без национальных ядерных катастроф. Велик риск террористического инициирования (средиземноморское «цунами») таких катастроф для ряда стран Западной Европы, учитывая их воинственную политику в южных, богатых углеводородами регионах. Подтверждение реальности этого и новых, изнутри, вызовов Европе — террористические акты 2011 г. в Норвегии и менталитет норвежского террориста, вовсе не исключающего ядерные объекты из числа потенциальных целей для подобных ему идейных борцов. При ликвидации последствий чернобыльской и фукусимской катастроф более эффективными оказались действия на основе государственной собственности и государственного управления. Следует ожидать, что эффективное частно-государственное партнерство или межгосударственный уровень для таких ситуаций еще более надежен.

Видимо, свершившиеся и потенциальные «неприятности» — довод для объединения усилий и повышения эффективности надзора, что, например, имеет наибольшие предпосылки реализации при создании международных подземных ядерных хранилищ на стыке стран или в иначе трудно доступной для несанкционированных посещений местности (Печенга, Норильск (Билибино), Краснокаменск). Кстати, градообразующее предприятие — АЭС готовя в Билибино к закрытию в ближайшие 10 лет. При соединении к идее создания таких хранилищ было бы полезно, например,

США, Канаде, Германии, Финляндии, Швеции (в том числе и как владельцам — носителям технологий подземной изоляции), а также Японии, Беларуси, Литве, Украине, другим странам Восточной Европы, Армении и Казахстану, как и участникам программы «Сотрудничество АТОМ-СНГ». Комплексные международные (независимые и «в компании») исследования на сопредельных территориях — залог объективности и надежности научного обоснования и сопровождения работ.

И еще. Сейчас на Западе принято выдвигать современные военные системы к границам России. Пример — ПРО в Европе. Или, совсем уж неожиданно, планы появления оружия НАТО в Финляндии, отзвуком которых является жесткая риторика В. В. Путина (<http://www.rg.ru/2012/06/23/putin-finland-site.html>). В последние годы, правда, и Россия подумывает об адекватной дислокации своих тактических и зенитных ракет. Контактное расположение ядерных хранилищ у границ с российской стороны будет некоторым фактором доверительного ядерного сдерживания — материальной гарантией неприменения этих систем против России. И поддержит символику тополей Д. О. Рогозина (<http://www.radiovesti.ru/articles/2012-01-14/fm/28560>). Заменой той гарантии, которую хотя бы на уровне политических заявлений долго и безуспешно пытается получить руководство Российской Федерации от иностранных партнеров. Принято также в ЕС стремиться к потреблению электроэнергии российских АЭС. Формируется справедливое мнение, что страны — потребители импортируемого «атомного электричества» должны юридически выравнять стандарты безопасности по обе стороны границы, нести часть бремени решения проблем отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов и вывода из эксплуатации АЭС стран, производящих такое электричество (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3483>).

На Мурмане нет месторождений урана. Молодой геолог Н. П. Лаверов их здесь не нашел. Академик Н. П. Лаверов и представители его научно-практической (ИГЕМ, МГИМО) школы могли бы исправить кольское природно-политическое недоразумение, поспособствовав созданию печенгской техногенной залежи ядерных материалов и методов контроля условий ее функционирования, в том числе правовых и дистанционных геофизических.

Вместе с тем «ружье на стене» — хранилище вблизи Красноярска или Челябинска — при его долгой жизни обязательно «выстрелит» как повод для внешнего, разрушающего «принуждения к миру» в центре России. Кроме того, в России и Германии понимают, что при нынешних тенденциях через 50 лет почти не останется государств, заинтересованных в российском природном газе [25].

Площадка «Печенга» расположена у северо-западной, площадка «Краснокаменск» — у юго-восточной границ Российской Федерации. С одной стороны потребности, как минимум Европы, а с другой — Японии, Южной Кореи и Китая. И везде — США. Концепции Краснокаменска и Печенги

«просятся» в единую систему (от исследований до реализации). Аналогично системе портовых комплексов для экспортно-импортной перевалки ядерных материалов — транспортно-логистический комплекс (ТЛК) «Запад» (Усть-Луга) и ТЛК «Восток» на Дальнем Востоке. На Кольском полуострове такую функцию могут выполнять береговые базы Росатома (Атомфлот и СевРАО) или реконструированный (<http://m51.ru/?p=5722>) международный морской торговый порт «Печенга».

Правда, инициативу по размещению зарубежного отработавшего топлива и высокоактивных отходов у Краснокаменска может перехватить Монголия, а у Печенги — Финляндия.

Не исключено, что конкуренцию или компанию Краснокаменску (как и Семипалатинску или системе «Печенга — Краснокаменск») в какой-либо форме может составить и Китай, который создает к 2050 г. вблизи южной границы Монголии, примерно на равном расстоянии от Семипалатинска и Краснокаменска, национальное (пока) геологическое хранилище Бейшан (Beishan). По крайней мере зондирующие ситуацию заявления о готовности страны принимать на долговременное хранение зарубежные ядерные материалы уже звучали. Нужно понимать, что Китай в принципиально важных делах достойно полностью самостоятелен и до поры закрыт. Поэтому надежно оценить планы Китая в направлении международной кооперации для завершающих стадий ядерного топливного цикла сейчас сложно. Возможно, китайские коллеги еще выжидают.

В «остальном мире» только-только и радикально меняется подход: от строгой обязательности национальных хранилищ к интернационализации. То обстоятельство, что одна из потенциальных площадок создаваемой международной системы — Краснокаменск, не должно оставить Китай равнодушным.

Кроме того, транснациональная полифункциональная система обращения с ядерными материалами уже существует и развивается. И Китай, несмотря на его неторопливость и самостоятельность в стратегических вопросах, уже приобщен к ней. Пока наиболее представлен оборот исходного урана. Это начало ядерного топливного цикла. Как видим, в рамках общей тенденции просматриваются уже и контуры международной кооперации в сфере завершающих стадий этого цикла. Причем разные страны могут осуществлять одну или несколько функций: поставки, приемки, перевозки, транзита, контроля. И если ключевым становится Краснокаменск, то Китай, даже при создании полностью самодостаточной национальной системы хранения и захоронения собственных ядерных материалов, не может не влиять на систему транснациональную, поскольку транснациональная система должна территориально «привязываться» к инфраструктурам евроазиатского материка. Китай может соучаствовать в ней в той части, которая не ограничивает его национальные интересы, а расширяет их. В контексте и ядерного нераспространения, и накопления у себя запасов ценного сырья для технологий редких элементов Китай примет, несомненно, весомое

решение относительно концепции и проектов подземных международных хранилищ ядерных материалов. Но позже.

Многое надо учитывать, решая вопрос о месте размещения объекта.

Благодарю за поддержку исследований профессоров В. Falkenburg, N. Witoszek, D. Macer, V. Masloboev, O. Ivanov, а также научных сотрудников Института философии и политологии Дортмундского технического университета.

Литература

1. *Комлева Е. В.* Ядерные отходы, газовые месторождения и безопасность Севера Европы // ЭКО: Всероссийский экономический журнал. 2007. № 3. С. 104–111.
2. *Просвирнов А.* Джинн снова вышел из лампы — первые уроки Фукусима-1. [Электронный ресурс]: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2934> (дата обращения 23.05.11).
3. Рядом со «шведской Фукусимой» планируют строить «вечное» хранилище ядерных отходов. [Электронный ресурс]: <http://www.dw-world.de/dw/article/0,,1493212,00.html> (дата обращения 23.05.11).
4. *Криворотов А. К.* Северный шельф перед лицом глобальной нестабильности // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения — 2010. Апатиты, 2010. С. 40–45.
5. *Череповицын А. Е., Жуков А. М.* Стратегический анализ возможностей и угроз освоения углеводородных ресурсов Западной Арктики // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения — 2010. Апатиты, 2010. С. 61–69.
6. Штокман // Север промышленный. 2011. № 1. С. 4–5.
7. Кому нужен сибирский атом? [Электронный ресурс]: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3013> (дата обращения 23.05.11).
8. *Лаверов Н. П., Величкин В. И., Пэк А. А.* Радиогеоэкологические проблемы начального и завершающего этапов ядерного топливного цикла // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2010. № 4. С. 26–33.
9. *Андерсон Е. Б., Савоненков В. Г., Шабалев С. И.* Геологические формации, перспективные для изоляции РАО // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2011. № 1. С. 54–58.
10. *Колдобский А. Б.* Мирный атом после цунами [Электронный ресурс]: <http://www.globalaffairs.ru/number/Mirnyi-atom-posle-tsunami-15187> (дата обращения 23.05.11).
11. *Саркисов А. А.* Проблемы реализации интеграционного подхода к обращению с радиоактивными отходами в северо-западном регионе России и окончательной их изоляции. [Электронный ресурс]: http://www.fcp-radbez.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=355&Itemid=386 (дата обращения 23.05.11).
12. *Мельников Н. Н., Конухин В. П., Наумов В. А.* и др. Научные и инженерные аспекты безопасного хранения и захоронения радиационно опасных материалов на Европейском Севере России. Апатиты, 2010. 305 с.
13. *Перовский В. А.* Где взять радиоактивные отходы для Сайды? [Электронный ресурс]: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2838> (дата обращения 23.05.11).
14. *Белушов В. И., Рычагов С. Н., Комлев В. Н.* и др. Печенгская глубинная и другие гидротермальные системы: новый взгляд на изоляцию ядерных материалов от биосферы // Уральский геологический журнал. 2001. № 3. С. 131–153.

15. *Перовский В. А.* О возможности приповерхностного хранения реакторных отсеков АПЛ, ВНИПИЭТ, 1995 / Т. Нилсен, И. Кудрик, А. Никитин. Доклад объединения «Беллуна» «Северный флот. Потенциальный риск радиоактивного загрязнения региона», 1996. С. 138.

16. *Комлев В. Н., Бичук Н. И., Зайцев В. Г., Мелихова Г. С.* О перспективности площадок северо-западной части Мурманской области для размещения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива: Тез. докладов конференции «Радиационная безопасность: радиоактивные отходы и экология». СПб., 1999. С. 24–25.

17. *Сергеев А. С., Богданов Р. В., Комлев В. Н.* Оценка геологических формаций северо-западного региона России как среды размещения подземного хранилища радиоактивных отходов: Тез. докладов конференции «Радиационная безопасность: радиоактивные отходы и экология». СПб., 1999. С. 88–89.

18. Project-408 in the framework of the UNESCO International Geological Correlation Programme «Comparison of composition, structure and physical properties of rocks and minerals in the Kola Superdeep Borehole (SG-3) and their homologues on the surface» (edited by F.P. Mitrofanov and F.F. Gorbatsevich). Apatity : Geological Institute of Kola Science Centre RAS, 2000. 153 p.

19. SKB & NEDRA Technical Report 92–39. 1992 // Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. SM Gruppen Bromma, 1993. 116 p.

20. *Мельников Н. Н., Конухин В. П., Комлев В. Н.* Материалы на основе минерального и техногенного сырья в инженерных барьерах для изоляции радиоактивных отходов. Апатиты, 1998. 94 с.

21. *Ловчиков А. В., Удалов А. Е., Белявский Ю. Г.* Напряженное состояние пород в верхних слоях земной коры по данным натурных измерений в рудниках вблизи скважины СГ-3 // Вестник МГТУ, 2007. Т. 10. № 2. С. 267–272.

22. *Дорджиев Д. Ю.* Обеспечение устойчивости выработок в рудном массиве при разработке удароопасных урановых месторождений: Дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. СПб., 2011. 145 с.

23. *Андерсон Е. Б., Белов С. В., Камнев Е. Н.* и др. Подземная изоляция радиоактивных отходов. М., 2011. 592 с.

24. *Камнев Е. Н., Морозов В. Н., Шищиз И. Ю.* Выбор площадок для захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях. М., 2012. 216 с.

25. «Я рассматриваю Балтийский газопровод в качестве стабилизирующего фактора»: Интервью Александра Пара // В мире науки. 2011. № 11. С. 92–93.

УДК 624.191.5÷624.191.24

А. М. КРАСЮК,
И. В. ЛУГИН,
А. Ю. ПЬЯНКОВА

(Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ГРУНТОВОГО МАССИВА, ОКРУЖАЮЩЕГО СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Аннотация. Исследованы температурные поля грунтового массива вокруг станции метрополитена мелкого заложения при эксплуатации в условиях резко континентального климата Сибири. Установлены зависимости для определения температуры на границе «верхнее перекрытие — грунт» станции метрополитена мелкого заложения от глубины ее заложения.

Ключевые слова: метрополитен мелкого заложения, станция, грунтовый массив, температура, теплообмен.

Summary. Temperature fields of the soil mass around station of the underground of a small deep are investigated at operation in the conditions of rezkokontinentalny climate of Siberia. Dependences for determination of temperature on border «the top overlapping — soil» are established to station of the underground of a small deep from depth of its deep.

Keywords: Underground of a small deep, a station, a soil mass, a temperature, a heat exchange.

В результате действия атмосферного воздуха и теплового потока техногенной природы из внутренних служебных помещений станции метрополитена, вокруг подземного сооружения образуется прогретая толща грунта, так называемая тепловая подушка. Для исследования процесса изменений температуры грунта в течение длительного (прогнозируемого) периода была разработана математическая модель, учитывающая свойства грунтов, изменения атмосферного воздуха и внутреннего воздуха станции. Решение осуществлялось методом конечных элементов путем численных экспериментов. На рис. 1 приведена расчетная схема станции в поперечном разрезе.

Зависимость изменения температуры грунта на дневной поверхности земли вследствие циклического изменения температуры атмосферного воздуха описывается как

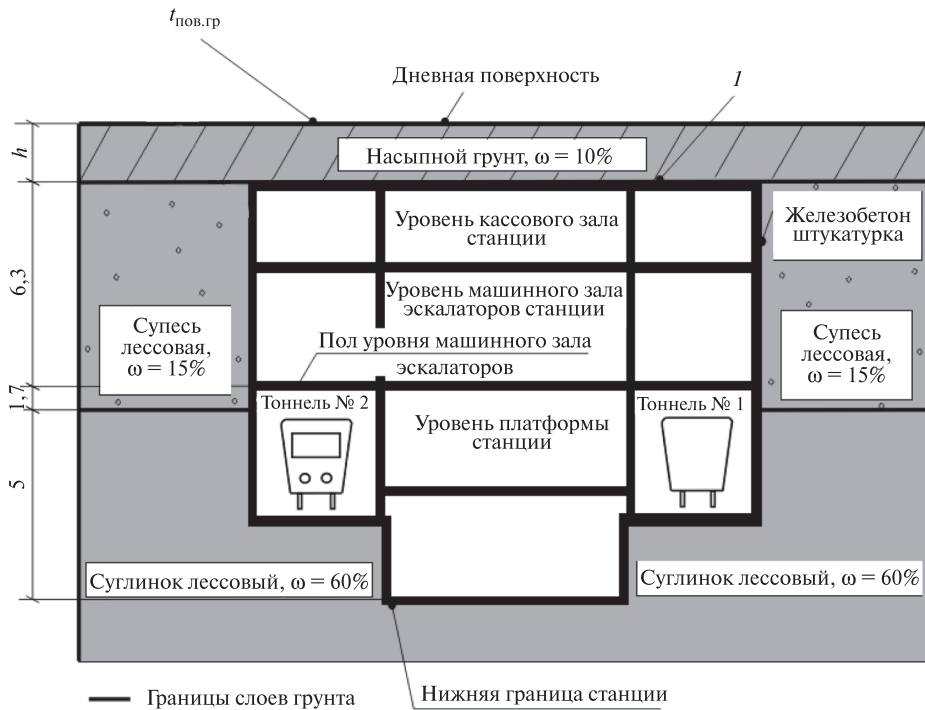


Рис. 1. Расчетная схема к моделированию процессов формирования температурного поля вокруг вестибюля станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена:

I — граница исследования колебаний температур грунта на границе «грунт — перекрытие станции» метрополитена; h — глубина заложения станции, м

$$t_{\text{пов.гр}} = 15 \cos(k_1 z) + 3,37, \quad (1)$$

где $t_{\text{пов.гр}}$ — температура поверхности грунта, °С;
 z — время, сут.;

$$k_1 — \text{коэффициент, } k_1 = 0,017 \frac{1}{\text{сут.}}$$

Зависимость (1) получена на основе данных среднемесячных температур [1] наружного воздуха за год с учетом влияния растительного покрова, толщины и продолжительности стояния снежного покрова земли; поправки на среднюю геодезическую отметку данного места; амплитуды годового колебания температуры на дневной поверхности; теплофизических характеристик грунтов [2]. Первое июля первого года эксплуатации станции принимается за начало отсчета: $z_0 = 0$ сут.

Установлено, что время достижения устойчивого циклического (ежегодного) характера колебаний температур грунта в условиях резко континентального климата Западной Сибири различно для одной и той же конст-

рукции станции при различных глубинах ее заложения. При увеличении глубины заложения станции в грунт увеличивается и время достижения устойчивого циклического характера колебаний температур грунта (рис. 2).

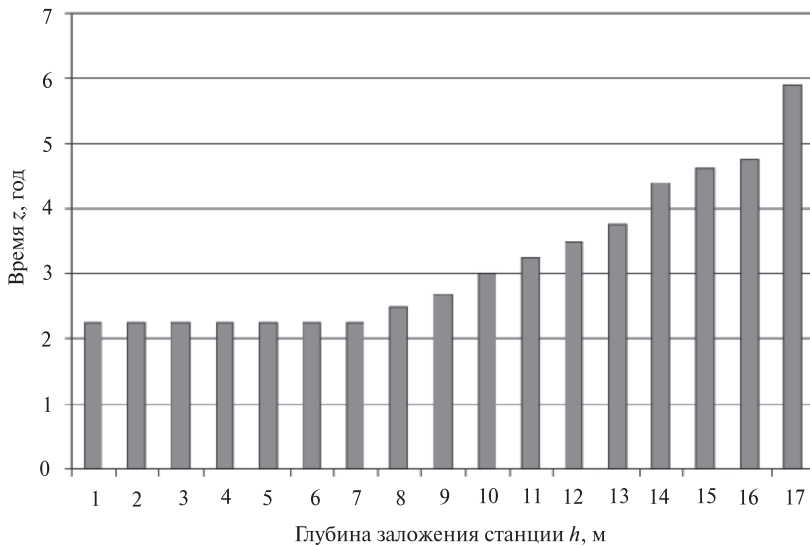


Рис. 2. Время достижения устойчивого циклического характера колебаний температур грунта вокруг станции метрополитена

На основе обобщения результатов исследования температур грунта вокруг станции выведена общая закономерность изменения температуры на границе «грунт — верхнее перекрытие станции», имеющая вид (2):

$$T(z) = A \sin(k_1 z + k_2 P) + B, \quad (2)$$

где T — температура грунта, °С;

z — время от начала эксплуатации станции, сут.;

A — амплитуда колебаний температуры грунта, °С;

P — начальная фаза колебаний температуры грунта, мес.;

B — свободный член, °С;

k_1 — коэффициент, $k_1 = 0,017 \frac{1}{\text{сут.}}$;

k_2 — коэффициент, $k_2 = 0,516 \frac{1}{\text{мес.}}$.

В результате серий экспериментов на численной модели станции определены температуры массива грунта вокруг станции метрополитена за время ее эксплуатации и получены зависимости годового колебания температур грунта на границе I (см. рис. 1) при устойчивом циклическом характере колебаний температур грунта (рис. 3).

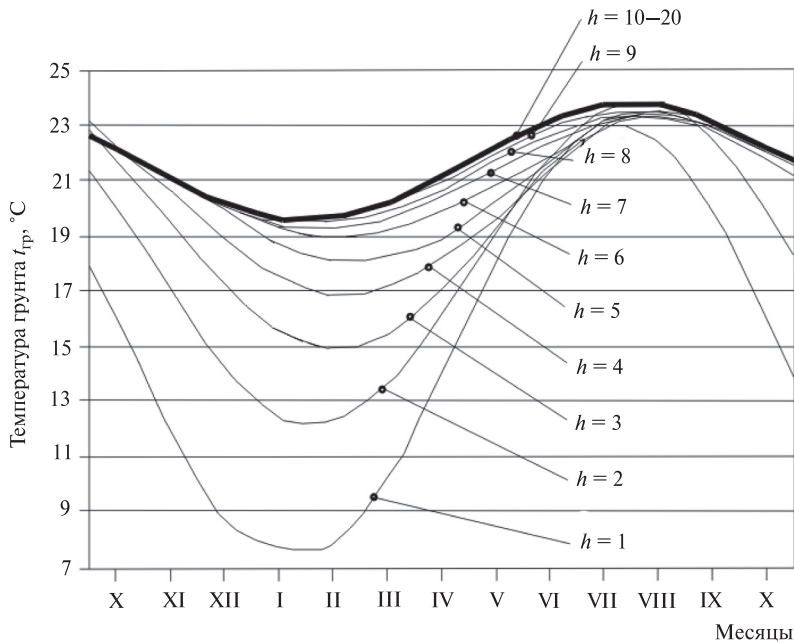


Рис. 3. Годовые колебания температур грунта на границе «грунт — верхнее перекрытие станции»; h — глубина заложения станции, м

Из рис. 3 видно, что с увеличением глубины заложения станции амплитуда колебаний температуры грунта на границе «грунт — верхнее перекрытие станции» значительно уменьшается. Для станций с глубиной заложения 10 м и более графики колебания температуры совпадают. Это означает, что температура грунта изменяется по одному и тому же закону, т.е. влияние сезонных колебаний температуры атмосферного воздуха на температуру грунта одинаково. Для определения зависимостей амплитуды и фазы колебаний температуры грунта на границе «грунт — верхнее перекрытие станции», входящих в уравнение (2), были проведены серии численных экспериментов и получены аналитические выражения исследуемых параметров.

Амплитуда колебаний температуры грунта A описывается следующей зависимостью:

$$\begin{cases} 1 \leq h < 10, & A(h) = 0,11(h-8)^2 + 1,7; \\ h \geq 10, & A(h) = \text{const} = 2,14. \end{cases}$$

Начальная фаза колебаний P определяется следующей зависимостью:

$$\begin{cases} 1 \leq h < 8, & P(h) = 0,07(h-5)^2 + 1,89; \\ h \geq 8, & P(h) = \text{const} = 2,52. \end{cases}$$

Свободный член B находится по зависимости от глубины заложения станции h как

$$B(h) = -\frac{7}{h} + 22,31 \text{ при } 1 \leq h \leq 20. \quad (5)$$

Выводы

1. Определены зависимости температуры массива грунта вокруг станции, в том числе и на границе «грунт — верхнее перекрытие станции» от глубины ее заложения, которые позволяют прогнозировать температуру грунта и ограждающих конструкций на длительный период и рассчитывать тепловой баланс станций метрополитена в любой период их эксплуатации.

2. Амплитуда колебаний температуры массива грунта, окружающего станцию, уменьшается по мере увеличения глубины заложения станции. При глубине 10 м и более колебания температур грунта происходят по постоянному периодическому закону.

Литература

1. СНиП 23-01-99*: Строительная климатология. Взамен СНиП 2.01.01-82. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 1999. 67 с.
2. Цодиков В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В. Я. Цодиков. М.: Недра, 1975. 237 с.

РАЗВИТИЕ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД

Аннотация. Статья посвящена обзору информации о добыче природного газа из сланца. С учетом опыта США рассматривается возможность развития в Европе, Китае и последствия этого для мирового рынка.

Ключевые слова: сланцевый газ, перспективы добычи, мировые запасы, особенности технологий.

Summary. Article is devoted to the review of information on production of natural gas from slate. Taking into account experience of the American production, development possibility in Europe, China and consequences for the world market.

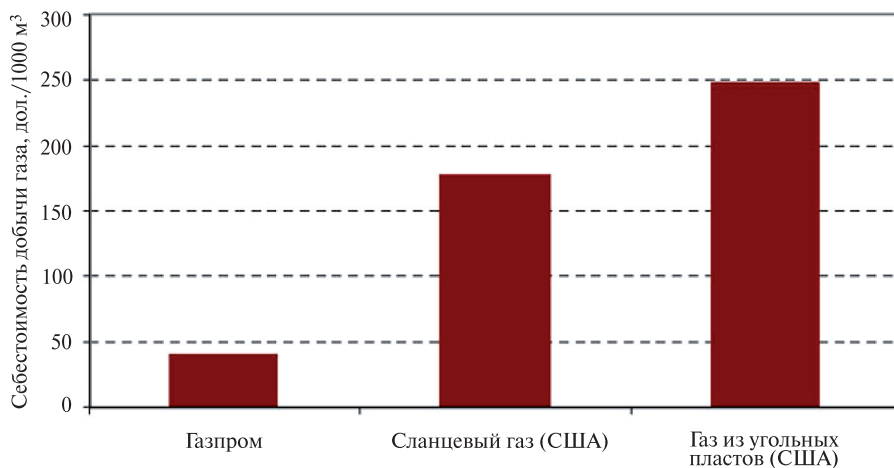
Keywords: shale gas, mining prospects, world reserves, features of technologies.

Анализируя заметный рост газодобычи в США в течение последних лет (добыча газа в США за последние четыре года выросла на 15%), можно с уверенностью отметить, что рост обусловлен разработкой сланцевого газа. В 2009 г. из сланцев добывалось 87 млрд м³ газа (14% общей добычи в стране). По оценке IHS CERA, к 2018 г. этот показатель может достичь 180 млрд м³ в год (27%).

Ресурсы сланцевого газа (shale gas) в мире составляют около 200 трлн м³; себестоимость добычи в точке производства — от 80 до 320 дол./тыс. м³. В среднем 210 дол./тыс. м³ (рис. 1).

За пределами США геологоразведочные работы по сланцевому газу в основном находятся в начальной стадии. Технологически извлекаемые и коммерчески эффективные запасы сланцевого газа в мире могут составлять около 12 трлн м³.

Для сравнения: разведанные запасы природного газа в России составляют 48 трлн м³, или свыше 33% мировых запасов традиционного газа (145 трлн м³); начальные суммарные ресурсы составляют 260 трлн м³ — более 40% от начальных суммарных ресурсов в мире (650 трлн м³, рис. 2). При этом средняя себестоимость добычи газа в России, включая транспортные расходы, на старых месторождениях составляет всего 46 дол./1000 м³.



Источник: данные компаний, расчеты Prime Mark

Рис. 1. Сравнительные показатели себестоимости добычи газа

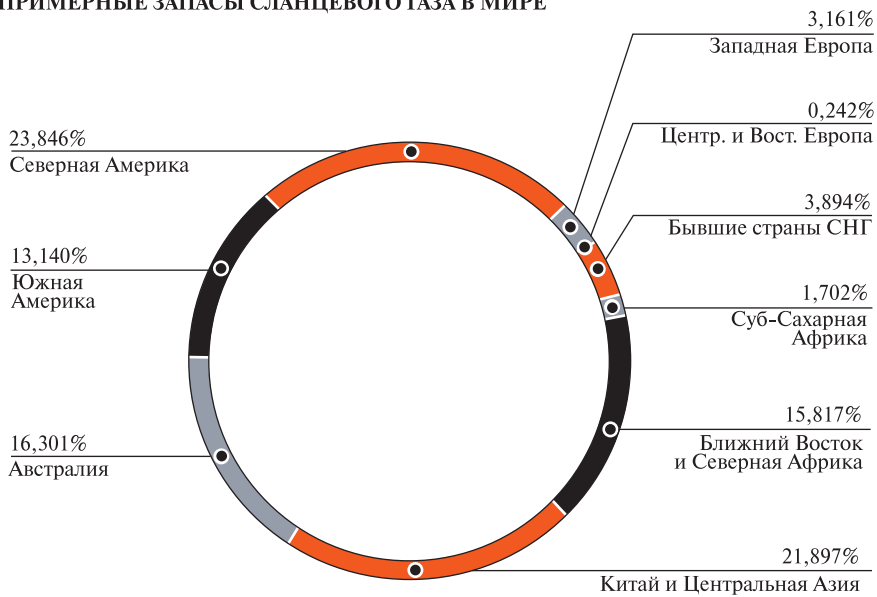
Сланцевый газ состоит преимущественно из метана (также входят неуглеродные соединения: сероводород, водород, диоксид углерода, гелий, азот), содержится в небольших количествах в самой осадочной породе (в низких концентрациях), и его можно извлечь путем вскрытия больших площадей, используя технологии гидроразрыва пласта (ГРП) и бурения большого количества длинных горизонтальных скважин с созданием трещин в скважине через определенные интервалы.

Газовые отложения в сланце сконцентрированы в небольших газовых коллекторах, которые рассредоточены по всему сланцевому пласту (сланцевые месторождения имеют значительную площадь — объемы газа зависят от толщины и площади сланцевого пласта).

Проблема добычи сланцевого газа — низкие, быстро падающие давления. Для небольших запасов приходится строить компрессорные станции. Низкая концентрация газа в породе приводит к тому, что пробуренные скважины быстро сокращают свой дебит — на 30–40% в год.

Современная технология добычи сланцевого газа подразумевает бурение одной вертикальной скважины и нескольких горизонтальных скважин длиной до 2–3 км. В пробуренные скважины закачивается смесь воды, песка и химикатов, в результате гидроудара разрушаются стенки газовых коллекторов и весь доступный газ откачивается на поверхность. Процесс горизонтального бурения проводится по инновационной методике сейсмического моделирования 3D-GEO, которая предполагает сочетание геологических исследований и картирования с компьютерной обработкой данных (включая визуализацию). При бурении горизонтальной скважины важно соблюдать правильный угол бурения, соответствующий углу наклона

ПРИМЕРНЫЕ ЗАПАСЫ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА В МИРЕ



ПРОГНОЗ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА В США (млрд фунтов³/день)

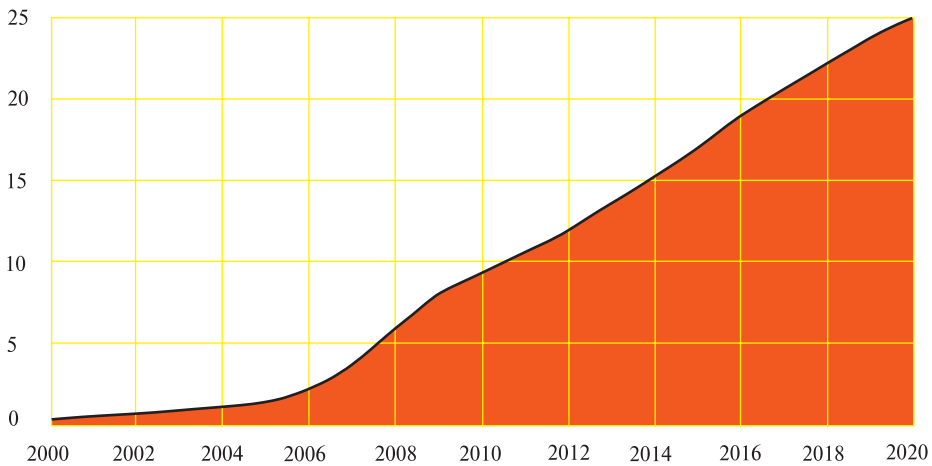


Рис. 2. Примерные запасы сланцевого газа в мире, по прогнозам Halliburton, и прогноз добычи

сланцевого пласта. Скважина должна пролегать сугубо в толще сланцевого пласта на достаточном расстоянии от его границ, в противном случае метан мигрирует через трещины и другие отверстия в верхний слой осадочных

пород. Газовые коллекторы в сланцевом пласте также имеют свои отличия и сконцентрированы в виде:

- скоплений в порах сланца аналогично хранению газа в плотном песке;
- скоплений возле источника органических веществ подобно метану в угольных пластах, однако в таком состоянии газ сильно поглощается органическими соединениями;
- скоплений в природных переломах.

Теоретическая база технологии гидроразрыва пласта была разработана в 1953 г. академиком С. А. Христиановичем совместно с Ю. П. Желтовым в Институте нефти АН СССР. Первые экспериментальные разработки в области газодобычи из сланца начали проводиться компанией Mitchell Energy & Development во главе с Дж. П. Митчеллом с 1980 г. в США. Полигоном для испытаний технологии горизонтального бурения Митчелом стало месторождение Barnett Shale. Для разработки эффективной технологии горизонтального бурения с гидроразрывом пласта понадобилось около 20 лет экспериментов. В настоящий момент Chesapeake Energy разрабатывает месторождения в Barnett Shale, Fayetteville Shale, Marcellus Shale, Haynesville Shale.

Опыт добычи в американских сланцевых бассейнах показывает, что каждое сланцевое месторождение требует индивидуального научного подхода и имеет совершенно уникальные геологические особенности, характеристики эксплуатации, а также существенные проблемы добычи.

Существует целый набор геохимических параметров, которые обуславливают условия добычи сланцевого газа и соответственно определяют себестоимость и стоимость результирующего продукта. Прежде всего существенно влияет на себестоимость добычи содержание глины в жестких песках, которая поглощает энергию гидроразрыва, что требует увеличения объема используемых химикатов. Каждое месторождение имеет уникальный объем диоксида серы, поэтому чем ниже этот показатель, тем выше цена реализации газа.

Наиболее выгодными считаются «хрупкие» сланцы с большим содержанием диоксида кремния, эти месторождения содержат естественные переломы и трещины. Одна из причин продуктивности месторождения Barnett Shale — высоким содержанием кварца в сланце — 29–38%, порода сланца в Barnett Shale очень хрупкая, поэтому требуется меньшая мощность гидроразрыва.

Наиболее сложным для бурения в США считается месторождение Haynesville Shale, оно отличается высоким давлением в породах, а также его значительными скачками. При глубине бурения 3200–4100 м давление составляет 675 атм. при температуре более 150 °С. Горизонтальные скважины имеют длину до 1500 м — добыча газа требует более мощных гидроразрывов.

Любая промышленная технология, технология добычи сланцевого газа, подразумевает позитивные и негативные стороны. К позитивным моментам можно отнести следующие:

- разработку сланцевых месторождений с использованием глубинного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах можно проводить в густозаселенных районах. Единственной проблемой будет использование тяжелого транспорта;
- значительные сланцевые месторождения газа находятся в непосредственной близости от конечных потребителей;
- добыча сланцевого газа происходит без потери парниковых газов.

К негативным моментам следует отнести экологические проблемы:

- в настоящее время вред, наносимый экологии региона сланцевого бассейна в Пенсильвании, носит характер экологической катастрофы. Несмотря на то что гидроразрывы проводятся гораздо ниже уровня грунтовых вод, токсичными веществами заражен почвенный слой, грунтовые воды и воздух. Это происходит за счет просачивания химических веществ через трещины, образовавшиеся в толще осадочных пород, в поверхностные слои почвы. В некоторых районах Пенсильвании в колодцах можно поджечь воду;
- для осуществления гидроразрыва необходимо использование большого количества воды, песка, химических смесей. В результате действий экологов согласно Закону о чистой воде США от 2005 г. вышло предписание для всех газодобывающих компаний из сланцевых месторождений раскрыть формулу химических «коктейлей», а также снизить химическую нагрузку на экологию региона;
- наиболее успешные сланцевые месторождения относятся к палеозойской и мезозойской эрам, имеют высокий уровень гамма-излучения, который коррелирует с термической зрелостью сланцевого месторождения. В результате гидроразрыва радиация попадает в верхний слой осадочных пород и в районах сланцевой добычи газа наблюдается повышение радиационного фона;
- опасность загрязнения грунтовых вод непосредственно из области ГРП, как правило, отсутствует ввиду глубокого залегания слоя газоносного сланца. Однако при нарушении облицовки ствола скважины ближе к поверхности или при неправильной утилизации отработанной жидкости опасность загрязнения присутствует;
- подтверждена вероятность микроземлетрясений в местах, где производился ГРП, а также в местах, где отработанная жидкость закачивается в подземные полости, например, на утилизацию (последствия от таких землетрясений незначительны ввиду низкой магнитуды);
- к более долгосрочным и недостаточно изученным эмпирически проблемам относится возможность утечек газа в атмосферу на этапе строительства и эксплуатации скважины. Метан в несколько десятков раз эффективнее CO_2 по парниковому эффекту. По оценкам

Howarth et al. (2011 г.), при добыче сланцевого газа утечки в атмосферу могут составлять 4–8% газоотдачи, что на 2 п.п. больше, чем при добыче традиционного газа. Основные утечки происходят при проведении ГРП в момент выкачивания смеси и последующего выбуривания мусора и технологических перегородок из перфорированного участка скважины, поскольку скважина в этот момент уже дает максимальную газоотдачу, но еще не подключена к системе переработки газа. Вдобавок временный и незначительный по объемам характер добычи на каждой отдельной скважине (дебит скважины быстро падает со временем) создает предпосылки для недостаточного контроля над соблюдением норм безопасности по окончании эксплуатации скважины, равно как и во время ее эксплуатации. Поэтому роль контролирующих органов в отрасли добычи сланцевого газа представляется более важной по сравнению с традиционным сектором;

- в настоящее время основные опасения, вплоть до введения некоторыми странами запрета на ГРП, связаны с возможностью загрязнения грунтовых вод. Научные свидетельства неоднозначны, поскольку довольно сложно постфактум отделить возможное загрязнение в результате непосредственно ГРП от, например, неправильной утилизации ГРП-жидкости после выкачивания на поверхность.

В России сланцевый газ не добывается.

Во-первых, технологии. Специфика сланцевых месторождений такова, что конечная технология зависит от горно-геологических условий конкретного месторождения. Кроме того, бурение скважин необходимо вести постоянно, а получить материальную отдачу ресурсов можно только через 10–15 лет (в США на технологический прорыв затрачено 20 лет).

Во-вторых, экология. В США сланцевый газ добывается в пустынных районах (это создает предпосылки для недостаточного контроля над соблюдением норм).

В-третьих, цена газа. Расчеты самих американцев показывают, что разработка новых месторождений сланцевого газа в США будет рентабельна при цене на рынке в 210–250 дол. за 1 тыс. м³. В Европе средняя цена на природный газ составляет около 300 дол. за 1 тыс. м³. Сжиженный катарский газ можно приобрести за 170–180 дол. за 1 тыс. м³.

Существуют несколько стран, имеющих потенциал для масштабной добычи нетрадиционного газа, в частности Китай, который обладает значительными запасами, но пока не обладает технологиями. Европейским странам в свою очередь будет мешать густонаселенность и экологические ограничения. Однако формирование единого глобального рынка увеличит конкуренцию и создаст дополнительное давление на цены. Таким образом, уже через 4–5 лет газовые экспортеры России столкнутся с резким ростом конкуренции во всех странах, являющихся потенциальными импортерами. В связи с этим необходимо задуматься о повышении эффективности предприятий отрасли и ее возможной реструктуризации.

CONTENS

AEROLOGY MINING ENTERPRISES

<i>Trenchek S., Voitass P., Keleler G.</i> Using of new system of aerologic monitoring to improving safety work in coal mine	11
<i>Kozyrev S. A., Amosov P. V.</i> Mathematical modeling of blind working ventilation during blasting works with cfd-models used	23
<i>Kozyrev S. A., Osintseva A. V.</i> Optimization of parameters for air flow regulators in a mine applying genetic algorithm	30
<i>Korshunov G. I., Bobrovnikov V. N., Sufiyarov A. M.</i> On the development of ventilation and degassing the mines of Vorkuta	36
<i>Gendler S. G.</i> Principles of the Gimrinsky road tunnel ventilation modernization	42
<i>Kaledina N. O., Kobylkin S. S.</i> Justification methane safety airing clearing and preparatory workings	54
<i>Bobrovnikov V. N., Gridina E. B., Yastrebova K. N.</i> Basic methods air, gas and dust dynamics processes management in work spaces open pits of Far North	59
<i>Castaneda Nagalskalov V., Fonov O. V., Goryachev D. S.</i> Large mining fans design and manufacture experience	64
<i>Sokolenko D. N., Pachtusov M. Yu.</i> Experience in the use of insulating materials to address the control of ventilation and gas conditions in coal mines	74

SAFETY OF THE MOUNTAIN ENTERPRISES

<i>Reuter M., Krach M., Veksler Ju., Senkus W., Lukin K.</i> Method of regulating methane seclusion and the explosion threshold of methane in longwalls	81
<i>Golinko V. I.</i> Improvement of dynamic descriptions of methane analyzers	88
<i>Alekseenko S. A., Shaykhlislamova I. A.</i> Quantum-informative method forecasting of emergency situations in mines	100
<i>Marchenko V. V.</i> Features of output harmful gases from the pores batted ore with a mass explosion	106
<i>Kaledina N. O., Zavirkina T. V.</i> Prediction of endogenous fires as an important condition for coal mine safety	113
<i>Babenko A. G., Lapin S. E.</i> Maintenance of complex safety of collieries	118
<i>Gridina E. B., Pasinkov A. V.</i> Complex estimation of a level of industrial safety at the coal mines on the basis of statistical analysis and expert estimation	124

LABOR PROTECTION

<i>Korshunov G. I., Mironenkova N. A., Potapov R. V., Yakovenko A. A.</i> Radiation safety of labours (radiation monitoring) in building and underground structure operation	135
<i>Efremov S. V., Idrisova D. I.</i> Working condition assessment of heavy equipment operators during overburden mining	141
<i>Cheberyachko S. I., Cheberyachko Yu. I., Stolbchenko E. V.</i> Features choice and exploitation of antidustborne facilities of individual defence of breathing organs on coal enterprises	148
<i>Nikulin A. N.</i> Industrial illumination as a factor of improving efficiency	158
<i>Smirniakova V. V.</i> Occupational test as the instrument for injuries decreasing in the mining enterprises	163
<i>Mitskevich A. A.</i> Determination of optimal cost on occupational safety on mining enterprise	168
<i>Shanskov M. A.</i> The use of physiological indicators to assess the severity of the miners	173

RELATED ISSUES OF SAFETY OF MINING OPERATIONS

Ovcharenko G. V. Provision of safety while crossing the zones of cavings at flat-lying coal seams lavas 181

Korzhavykh P. V. Justification safe technology of partial interchamber recovery at the Gubkin mine 191

Rasskazov I. Y., Gladyr A. V., Rasskazov M. I., Tsoy D. I., Anikin P. A., Iskra A. Y., Miroshnikov V. I. Wide-AUTOMATED SYSTEM Monitoring of dangerous rock pressure manifestations 195

Alexandrov V. I., Koptev V. Yu. Modern schemes of transport in mining development 201

Komleva E. V. Aspects of depository and repository of nuclear materials 212

Krasuk A. M., Lugin I. V., Pyankova A. U. The investigation of temperature fields of the soil mass, surrounding stations of the underground of small deep 232

Magomet R. D. Development of production of natural gas from slate breeds 237

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
Выпуск 1

АЭРОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Заведующая редакцией *М. Р. Зребная*
Корректор *Т. Н. Немчинова*
Компьютерная верстка *Т. Н. Селивановой*

Подписано в печать 20.08.2013. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 20,15. Печать офсетная.
Тираж 1500 экз. Заказ № .

105066, Москва, ул. Старая Басманная, д. 25, стр. 5, офис 19
Тел./факс: (499) 261-87-87, (499) 261-40-40
E-mail: izd@mwork.su

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного электронного оригинал-макета
в типографии филиала ОАО «ТАТМЕДИА» «ПИК «Идел-Пресс»».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.
E-mail: idelpress@mail.ru

ISBN 978-5-905450-37-2



9 785905 450372

Книги, вышедшие в серии «Библиотека горного инженера»

- Аэрогазодинамика выемочного участка. *Абрамов Ф. А., Грецингер Б. Е., Соболевский В. В., Шевелев Г. А.*
- Альбом. Типовые схемы вскрытия, подготовки и отработки угольных пластов для шахт Российской Федерации
- Взрывоопасность угольных шахт. *Айруни А. Т., Клебанов Ф. С., Смирнов О. В.*
- Внезапные выбросы метана: теоретические основы. *Колесниченко Е. А., Артемьев В. Б., Колесниченко И. Е.*
- Воздух в шахте. *Клебанов Ф. С.*
- Геомеханика на угольных шахтах. *Коршунов Г. И., Логинов А. К., Шик В. М., Артемьев В. Б.*
- Горное законодательство Российской империи
- Качество углей ОАО «СУЭК». *Рашевский В. В., Артемьев В. Б., Силютин С. А.*
- Курс горного права. *Струкгов В. Г.*
- Маркшейдерское обеспечение работ по добыче угля
- Микроэлементы горючих ископаемых. *Шпирт М. Я., Рашевский В. В.*
- Основы проектирования дегазации угольных шахт и рудников России. *Рубан А. Д., Забурдяев В. С., Матвиенко Н. Г., Артемьев В. Б.*
- Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах. *Артемьев В. Б., Коршунов Г. И., Логинов А. К., Шик В. М., Ютяев Е. П.*
- Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов. *Рубан А. Д., Артемьев В. Б., Забурдяев В. С., Захаров В. Н., Логинов А. К., Ютяев Е. П.*
- Пылевая взрывоопасность горного производства. *Лебецки К. А., Романченко С. Б.*
- Пылевая динамика в угольных шахтах. *Романченко С. Б., Руденко Ю. Ф., Костеренко В. Н.*
- Российская минералогия: сборник научных трудов. *Ломоносов М. В.*

- Рудничные пожары. *Скочинский А. А., Огиевский В. М.*
- Справочник гидрогеолога. В 2-х частях
- Справочник механика угольной шахты
- Справочник по охране недр. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях
- Геологическое обеспечение работ по добыче угля
- Теория и практика длиннолавных систем. *Коровкин Ю. А., Савченко П. Ф.*
- Технологические схемы проведения капитальных и разрезных траншей на угольных разрезах. *Коваленко В. С., Артемьев В. Б., Опанасенко П. И., Исайченков А. Б.*
- Технологическое оборудование для обогащения углей. *Антипенко Л. А., Рашевский В. В., Артемьев В. Б., Силютин С. А.*
- Указания по рациональному расположению, охране и поддержке горных выработок на угольных шахтах

**Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр»
приглашает авторов и горно- и нефтедобывающие компании
принять участие в создании книжной серии
«Библиотека горного инженера»**

Серия задумана в целях обеспечения специалистов актуальной технической литературой. Издания серии носят прикладной характер, содержат большое количество справочной информации и являются своего рода многотомной технической энциклопедией. В них будет сосредоточено все лучшее, что накоплено отечественной наукой и практикой относительно наиболее эффективного использования потенциала месторождений. «Библиотека горного инженера» станет ценным пособием для профессионального роста и повышения квалификации специалистов горных компаний.

Обобщение накопленного опыта будет вкладом компаний в повышение эффективности всей горнодобывающей промышленности России.

По вопросам сотрудничества обращаться по телефону 8 (499) 263-15-55

Факс 8 (495) 641-00-45

smr@mwork.su

www.mwork.su