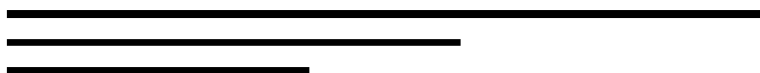


ISSN 2415-8585



ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

**«МАКЕЕВСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**



***Способы и средства
создания безопасных и здоровых
условий труда в угольных шахтах***

Выпуск № 3 (июль – сентябрь) (70) 2025

Макеевка

2025

**Государственный комитет по науке и технологиям
Донецкой Народной Республики**

***ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»***

***Способы и средства создания безопасных и
здоровых условий труда в угольных шахтах***

Сборник

Выходит 4 раза в год

Основан в декабре 1988 г.

Выпуск № (июль – сентябрь) (70) 2025

**Макеевка
МАКНИИ
2025**

УДК 622.8.004.2

ISSN 2415-8585

Учредитель, редакция и изготовитель –
Государственное бюджетное учреждение «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности»

СМИ зарегистрировано Министерством информации Донецкой Народной Республики: Свидетельство ААА № 000203 от 26.06.18 г.

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук Безбородов В.А.	– главный редактор
канд. техн. наук Диденко В.В.	– заместитель главного редактора
канд. техн. наук Кременев О.Г.	– ответственный секретарь
канд. техн. наук Гладков А.Ю.	– технический секретарь
д-р техн. наук Алабьев В.Р.	
д-р техн. наук Брюханов А.М.	
канд. техн. наук Диденко В.П.	
д-р техн. наук Долженков А.Ф.	
д-р техн. наук Канин В.А.	
д-р техн. наук Ковалев А.П.	
канд. техн. наук Лобода В.В.	– научный редактор
д-р техн. наук Медведев В.Н.	

Сборник включен в библиографическую базу данных Российского индекса научного цитирования (договор № 84-03/2018 от 07.03.2018 г.)

Подписан к печати по рекомендации Ученого совета МАКНИИ (протокол № 8 от 16 сентября 2025).

Освещаются вопросы состояния безопасности труда в угольных шахтах. Предлагаются меры для предупреждения несчастных случаев, улучшения санитарно-гигиенических условий труда в шахтах. Указываются перспективные направления для обеспечения безопасности горных работ.

Статьи, помещенные в сборнике, актуальны, посвящены современным проблемам снижения травматизма, содержат полезную информацию и практические рекомендации для инженерно-технических работников отрасли.

СОДЕРЖАНИЕ

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Безбородов В.А., Тында Г.Б., Береговой Р.В.

**Обеспечение взрывобезопасности метанообильных выемочных
участков угольных шахт 7**

**Косарев И.В., Мезников А.В., Косарев В.В., Коваленко А.В.,
Мемех А.В.**

**Создание импортозамещающих систем высоконапорного
пылеподавления, пылевзрывозащиты и фильтрации рабочих
жидкостей горных машин 17**

**Косарев И.В., Мезников А.В., Косарев В.В., Пальчик В. С.,
Бойко С.В.**

О разработке комбайна непрерывного действия КПФ..... 27

Шабанов С.П., Строев Н.Н., Кривоноженков М.В.

**Об измерениях шахтной депрессии и деформаций в станке
металлического копра 35**

Володин А.В., Гречка С.А., Иванченко В.А., Придубкова Т.А.

**Очистка многокомпонентного модельного раствора шахтных вод
карбонатсодержащими реагентными материалами в статических
условиях 41**

Маренич О.К., Тараненко А.А.

**Управляемая коммутация как способ ускорения защитного
отключения междуфазного короткого замыкания в силовом
присоединении шахтной участковой трансформаторной
подстанции 54**

Маренич О.К., Тараненко А.А.

Анализ возможности применения возобновляемых источников
энергии в климатических условиях Донбасса 58

II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Медведев В.Н., Беляева Е.В., СклЯров А.Л.

Компьютерное прогнозирование концентрации метана в рудничной
атмосфере с применением программы MS Excel 64

**Горошко И.П., Диденко В.В., Гладков А.Ю., Гаврилко В.А.,
Пархоменко Р.А., Лисицын Д.А.**

К вопросу обнаружения утечек тока на землю в участковых сетях
3,3 кВ угольных шахт 72

Андрусенко И.Н.

О традиционных и нетрадиционных способах использования
каменного угля 80

Трунов Л.Ф., Горелов А.В.

О влиянии структурно-деформационных свойств вмещающих
пород на устойчивость кровли в любой точке целика 87

Гарбузов А.П., Крюченков А.В., Золотухин И.И., Захлебн В.В.

Перепад давления вентиляционной струи – основа работы
блокировки шахтных шлюзов 93

**Карповский А.Ю., Свистельник С.В., Гречановский А.В.,
Шашкова С.В., Гладков А.Ю.**

О приборе для контроля взрывного импульса для угольных шахт 101

**Карповский А.Ю., Лисицын Д.А., Свистельник С.В., Диденко В.В.,
Гладков А.Ю.**

Об устройствах для защиты рудничного электрооборудования..... 115

Диденко В.П.

**Об устройстве для контроля исправности статической токовой
искрозащиты в цепях постоянного напряжения..... 123**

Диденко В.П.

**О контроле работоспособности искрозащиты в цепях переменного
напряжения 130**

Кириян А. П., Мельников С.А., Капран Л.Н., Кирин В.Н.

**Об анализе способов и устройств для локализации взрывов газа и
угольной пыли в шахтах..... 138**

III. ОХРАНА ТРУДА

Яковенко Е.А., Тимофеева Н.Л.

Анализ условий эксплуатации дегазационной системы при пожаре..... 143

Тында Г.Б., Береговой Р.В.

**Исследование влияния расстояния между источником метана и
подошвой выработки на вероятность возникновения прорывов
метана из почвы 149**

**Богоудинов Р.М., Рыжков М.Ф., Бондаренко А.Д., Черниговцева А.А.,
Левченко Л.М.**

**О применении опережающей отработки защитных пластов для
предотвращения выбросов породы и газа в условиях шахты
имени А.А. Скочинского 154**

Деньга В.В., Терентьева Е.В., Соболев Р.А.

**О способности кристаллогидратов гасить фронт пламени взрыва
пылевоздушных смесей..... 161**

Мусатова Н.Л., Ямнюк Л.И.

**О требованиях охраны труда при эксплуатации баллонов со
сжатыми и сжиженными газами для закрывающихся и
гидрозащитных шахт 169**

**Лобода В.В., Н.А. Белоносова Н.А., Верещагина Е.В., Манец Н.В.,
Шепелева В.А.**

**О повышении эффективности системы аварийной защиты
шахтных передвижных винтовых компрессорных установок 174**

**Деменков А.И., Белоносова Н.А., Болтунов О.Г., Майбенко Н.И.,
Толстова А.В.**

**Математическая модель процесса инертизации взрывоопасной
шахтной среды газообразным азотом в месте выемки угля 182**

Деньга В.В., Голик И.Ю.

О средствах для локализации взрывов в угольных шахтах 189

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.315.231:622.33.012

В.А. БЕЗБОРОДОВ, канд. техн. наук, директор,

Г.Б. ТЫНДА, зав. отд.,

Р.В. БЕРЕГОВОЙ, науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ МЕТАНООБИЛЬНЫХ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Выполнен анализ механизмов развития пожаров на угольных шахтах, связанных с вовлечением в процесс горения метана, содержащегося в пустотах выработанного пространства. Выявлены основные факторы, влияющие на вероятность возникновения взрыва. Сформулированы основные направления обеспечения взрывобезопасности метанообильных выемочных участков.

Ключевые слова: угольная шахта, выемочный участок, выработанное пространство, метан, воспламенение, взрыв.

Взрывы газопылевоздушных сред в угольных шахтах – наиболее опасная разновидность аварий, приводящих к огромным человеческим жертвам, разрушению километров выработок и заполнению их опасными продуктами горения. В результате взрыва на шахте им. А.А. Скочинского в 1998 году погибло 64 человека. Самая тяжелая по своим последствиям авария на шахтах Донбасса, произошедшая на ш. им. А.Ф. Засядько в 2007 году и унесшая жизни более ста человек, также была вызвана серией взрывов метана и угольной пыли.

В ходе расследования взрывов, произошедших на выемочных участках, выяснилось, что подавляющее большинство развивалось вследствие наличия метана, выделившегося в горные выработки из неконтролируемых объемов выработанного пространства (ВП). Для предотвращения взрывов необходимо понимание механизмов вовлечения метана ВП в процесс горения. Учитывая ущерб, наносимый шахтам взрывами газопылевоздушных сред, актуальность этой проблемы сомнений не вызывает.

Цель работы – выявить основные механизмы вовлечения метана ВП

в развитии процесса горения и обосновать основные направления обеспечения взрывобезопасности метанообильных выемочных участков.

Важно отметить, что современная система газовой безопасности, включая нормативную правовую базу проектирования схем проветривания, не учитывает метановыделение в атмосферу ВП [1, 2]. Эта система предотвращает формирование взрывоопасной среды исключительно в рабочей зоне, т.е. в выработках, в которых могут находиться люди или ведутся технологические процессы. Подобная система, по сути, игнорирует и возможность проникновения горения в неконтролируемое пространство, и возможность выноса метана из него. При этом подразумевается, что, если требования к газовой среде рабочей зоны неукоснительно соблюдаются, то распространение горения в нерабочую зону исключено и, следовательно, взрыв с участием метана ВП невозможен.

Таким образом, о необходимости контроля газовой среды ВП свидетельствует следующее:

- во-первых, возникновение теплового импульса, инициирующего воспламенение метана в ВП. Зажечь труднодоступный метан может, например, очаг самовозгорания угля, оставленного в обрушенных породах;
- во-вторых, горение и взрывы газовой среды в ВП, сами по себе, создают серьезную угрозу для функционирующих объектов, как генераторы газов, поражающих организм человека, и как источники тепла, необходимые для распространения горения из ВП в действующие выработки.

Практически все аварии начинались с воспламенения метана в очистной или подготовительной выработке, к которым ВП примыкало. В то же время механизмы вовлечения метана из неконтролируемых объемов в процесс горения существенно отличались. В ходе расследования аварий некоторые из этих механизмов удалось установить. Согласно выводам экспертных комиссий, в ряде случаев вынос метана опасной концентрации происходил, если в выработке, к которой примыкало ВП, воспламенялся метан относительно небольшого объема. Горение протекало в виде вспышки, сопровождавшейся толчком воздуха или слабой ударной волной. При отсутствии близко расположенных неконтролируемых объемов ВП и легковоспламеняющихся материалов подобные вспышки, с большой долей вероятности, через короткий промежуток времени заканчивались бы самозатуханием вследствие полного выгорания метана. В тех же случаях, когда рядом с выработкой, в которой произошла вспышка, располагалось ВП, заполненное метаном, под воздействием аэродинамического импульса, создаваемого вспышкой, в аварийную выработку из ВП выдавливалась газо-

вая среда с высокой концентрацией метана. Смешиваясь с воздухом, эта среда становилась горючей и при контакте с зоной горения воспламенялась, создавая более мощный импульс. Новый импульс вытеснял из обрушенных пород в зону горения очередную (еще большую) порцию метановоздушной среды. Описанный процесс, развиваясь, мог повторяться несколько раз. В итоге, изначальное воспламенение незначительного скопления метана в проветриваемой выработке перерастало в масштабный взрыв.

Примерно по такому сценарию развивались аварии на ш. «Северная» ГП «Макеевуголь» 17.02.2014 г. в конвейерном штреке восточной коренной разгрузочной лавы западной панели пласта m_3 и 04.04.2015 г. в 3-й восточной уклонной лаве пласта m_3 шахты им. А.Ф. Засядько.

Важно отметить, что реализация подобного сценария происходила при отсутствии непосредственной связи между местом вспышки в действующей выработке и скоплением метана в ВП в виде газовой среды, способной распространять горение. В качестве такой среды, как правило, выступают пожароопасные утечки воздуха, выделяющиеся в действующую выработку из неконтролируемых объемов ВП. В рассматриваемом случае газовая среда с высокой концентрацией метана достигала зоны горения благодаря начальному, достаточно интенсивному воздействию аэродинамического импульса на ВП. Поэтому очевидно, что описанный механизм может быть реализован только при условии формирования в действующей выработке пожароопасного скопления метана определенного объема.

При наличии пожароопасных утечек из ВП в проветриваемую выработку, возникновение взрыва с участием метана ВП возможно по несколько иному сценарию. Для его реализации формирование пожароопасного скопления метана в проветриваемой выработке не обязательно. Изначально происходит воспламенение упомянутых утечек в результате их контакта, с каким-либо высокотемпературным источником, возникшим в выработке. Для этого достаточно, например, случайного попадания фрикционной или электрической искры в ту часть боковой поверхности выработки, через которую в вентиляционную струю просачиваются утечки из ВП с высокой концентрацией метана. В результате их воспламенения горение распространяется в пустоты ВП. И, если их объем окажется достаточно большим, продукты сгорания, расширяясь, смогут вытеснить из ВП в проветриваемую выработку более удаленную газовую среду. После этого процесс развития аварии пойдет по сценарию, который описан ранее. Примерно так развивался взрыв на шахте «Краснолиманская» 19.07.2004 г. на участке 11 южной лавы пласта l_3 центрального уклона II ступени.

Взрывы неоднократно возникали и в тех случаях, когда взрывоопас-

ная газовая среда в действующей выработке формировалась в результате выноса из ВП МВС вследствие переходных аэродинамических процессов, инициируемых резкими изменениями режимов проветривания, с последующим воспламенением этой среды от случайных высокотемпературных источников.

Примером такой аварии является взрыв на шахте им. С.М. Кирова 23.08.2009 г. на подготавливаемом участке 1-й восточной лавы пласта h_{10}^B , в результате которой погибло 5 человек. В момент взрыва метанообильность аварийного объекта практически равнялась нулю. Взрывоопасная МВС выделилась в горные выработки из ВП. Это произошло в процессе выполнения планового общешахтного реверсирования вентиляционной струи после восстановления нормального режима проветривания. МВС с концентрацией метана около 5%, выделившаяся в действующие выработки, оценивалась от 1500 до 2000 м³. Воспламенение взрывоопасной газовой среды произошло по технологическим причинам.

Целый ряд взрывов газовой среды возник вследствие ее вытеснения из пустот ВП, происходившего при посадках основной кровли. В отдельных случаях в рабочую зону вытеснялось метана так много, что взрывы становились невозможными вследствие его высокой концентрации, но при этом люди погибли от удушья. Примером этого является авария в 13-й восточной лаве пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько 20.09.2006 г.

Изложенное доказывает, что независимо от механизма реализации взрыва на выемочном участке главным условием его возникновения остается наличие значительных объемов метановоздушной смеси (МВС) с высокой концентрацией метана в пустотах ВП. Более того, можно утверждать, что в проветриваемой выработке, при отсутствии газодинамических явлений в качестве источника метана, формирование объема горючей МВС, достаточного для взрыва, без участия ВП невозможно. Это означает, что, нейтрализовав метан, сосредоточенный в неконтролируемых объемах, повышается уровень взрывобезопасности выемочных участков.

Более детальный анализ условий развития процесса горения в неконтролируемых объемах ВП показал, что перерастание локальной вспышки в масштабный взрыв с участием газовой среды ВП, становится возможным, если интенсивность потока МВС, формируемого вследствие воздействия на ВП тех или иных импульсов, превысит некоторый предел. Интенсивность упомянутого потока зависит от целого ряда факторов. К ним относятся объем полостей, содержащих метан, его концентрация, места их расположения, аэродинамическое сопротивление каналов, по которым полости – накопители метана сообщаются с действующими выработками, рас-

стояние до природных источников метана и их газовый потенциал, интенсивность и распределение потоков утечек воздуха в обрушенных породах.

Известно, что в ВП метанообильных выемочных участков, даже в случае привлечения самых совершенных средств дегазации, какое-то количество метана высокой концентрации содержится всегда [3-6]. Это количество зависит от объема полостей расслоения, однако для получения достоверной информации об объемах этих полостей с помощью современных средств исследования горного массива акустическими методами потребуются значительные затраты.

Крайне важно оценить условия выноса метана, сосредоточенного в ВП конкретного выемочного участка, в проветриваемую выработку. Для решения этой задачи целесообразно воспользоваться закономерностями изменения объема пустот, концентрации метана и проницаемостью обрушенных пород ВП по мере удаления от проветриваемых выработок. Одна из таких закономерностей сводится к следующему. Чем дальше от проветриваемых выработок расположена полость, тем ближе она к источникам метана, тем ее содержимое менее подвержено влиянию средств вентиляции и дегазации, соответственно, выше концентрация метана.

Но, с другой стороны, тем недоступней такая полость становится для рабочей зоны: более протяженные каналы, соединяющие эту полость с проветриваемыми выработками, выше их аэродинамическое сопротивление. Учитывая это обстоятельство, можно с высокой долей уверенности утверждать, что у каждого конкретного ВП имеется зона, в которой условия для выделения метана, являются наиболее вероятными.

Базовые представления в области геомеханики [7-9] дают основания условно разделить ВП любого выемочного участка на три зоны, имеющие различный характер пустот, специфичные аэродинамические связи с действующими выработками и источниками метановыделения и создающие различный вклад в поток метана в действующие выработки:

1. Зона слежавшихся пород. Эта зона начинается в нескольких сотнях метров позади забоя за задним фронтом опорного давления. Размеры пустот крайне малы. Утечками воздуха через эту зону можно пренебречь. Состав газов в этой зоне почти неуправляем и неконтролируем. Концентрация метана в этой зоне, вероятнее всего, близка к 100%. В этой зоне содержится значительная часть метана ВП, но он практически недоступен для действующих выработок. Влияние этой зоны на газовую обстановку может проявиться только в случае воздействия на нее аэродинамических импульсов высокой интенсивности, например, ударных волн с избыточным давлением во фронте на уровне нескольких атмосфер. Это означает,

что метан из этой зоны может достичь горных выработок и принять участие в процессе горения, если где-то уже произошел взрыв.

2. Полости, непосредственно прилегающие к очистной выработке (между забойной крепью и обрушившимися породами непосредственной кровли). Размеры полостей изменяются в диапазоне от нескольких метров до нескольких десятков метров. Объем полостей зависит от свойств непосредственной кровли и изменяется в пределах от 15% до 30% объема призабойного пространства. Режим движения воздуха по этим полостям мало чем отличается от режима движения вентиляционной струи проветриваемой выработки. Считается [1], что утечки, движущиеся по этим полостям, участвуют в проветривании очистной выработки. В среднем, они составляют от 20% до 25% от расхода воздуха через призабойное пространство и порядка от 30% до 80% от общего объема утечек.

Концентрация метана в этой зоне, чаще всего, близка к концентрации в призабойном пространстве, и в некоторой степени зависит от метановыделения из вмещающих пород. Состав газов в этой зоне достаточно хорошо управляем и контролируем. Влияние этой зоны на газовую обстановку может оказаться существенным даже при незначительных импульсах, но только в одном случае – если концентрация метана в утечках вдоль очистной выработки высока. На практике такое наблюдается крайне редко.

3. Третья зона располагается между двумя предыдущими. В эту зону входят полости расслоения, свободные объемы под нависшими слоями основной кровли, а также купола и пустоты в обрушенных породах основной и непосредственной кровли, еще не подверженных воздействию заднего фронта опорного давления. Проницаемость обрушенных пород третьей зоны значительно выше, чем первой зоны, но значительно ниже, чем второй. Доля этой зоны в утечках через ВП составляет порядка от 30% до 70%. Именно эта зона формирует метановыделение при посадках основной кровли.

Газовая среда этой зоны гораздо менее управляема средствами вентиляции и дегазации, и, практически, неконтролируема. Концентрация метана изменяется от 1% до 100%.

На наш взгляд, именно третья зона представляет наибольшую опасность, поскольку в ней сосредоточено основное количество метана, способного достичь действующих выработок в случае возникновения небольших аэродинамических или механических импульсов и, как было отмечено ранее, газовая среда этой зоны неконтролируема.

С использованием представлений о зонах ВП в перспективе планируется разработать комплексный критерий «взрывоопасности ВП» и оцен-

ки параметров выноса МВС из него в действующие выработки. По нашему мнению, этот критерий должен учитывать:

- метановыделение из ВП с учетом эффективности дегазации и схем вентиляции выемочных участков;
- утечки воздуха через ВП, среднюю концентрацию метана в утечках на выходе из ВП;
- периодичность изменения аэродинамических параметров ВП, обусловленную геомеханическими процессами, в частности, периодичностью посадки основной кровли.

Кроме чисто теоретического критерия необходимо разработать метод практической оценки опасности выделения метана из ВП. В основе такого метода представляется целесообразным использование какого-либо аэродинамического воздействия на ВП.

Одним из наиболее интенсивных аэродинамических воздействий, которое испытывает вентиляционная сеть угольной шахты, включая ВП, можно считать общешахтное реверсирование вентиляционной струи, которое согласно ПБ является обязательным для большинства шахт.

В процессе осуществления общешахтного реверсирования газовая среда, заполняющая объемы ВП, подвергается воздействию перепада давлений, превышающего сотни декапаскалей. Поэтому реакция ВП на реверсирование нарисует достаточно объективную картину и в отношении своего газового потенциала, и в отношении объема пустот и газовой проницаемости.

Располагая всей доступной информацией о метанообильных выемочных участках, включая результаты натурных наблюдений в период общешахтного реверсирования, их можно дифференцировать по критерию «взрывоопасность ВП». Затем для каждого конкретного выемочного участка в соответствии с уровнем взрывоопасности его ВП целесообразно разработать и реализовать комплекс адресных мер, предотвращающих развитие аварий, связанных с выносом метана из ВП.

Меры, позволяющие снизить риск развития аварий до катастрофических размеров, можно условно разбить на несколько направлений:

I-е. Снижение общего количества метана в ВП, что достигается:

- дегазацией источников метановыделения скважинами;
- увеличением утечек воздуха через ВП;
- уменьшением объемов пустот путем принудительной посадки основной кровли;
- увеличением депрессии, приложенной к ВП.

II-е. Устранение возможных путей распространения горения в ВП из

действующих выработок. Зонами, где вероятность распространения процесса горения высока, являются:

- сопряжение лавы с вентиляционной выработкой;
- призабойное пространство лавы на протяжении от 30 до 50 м от сопряжения лавы с вентиляционной выработкой у задних стоек крепи.

Для нормализации газовой обстановки в указанных зонах с целью устранения путей распространения горения в ВП можно применить стандартные технические решения, в частности:

- изолированный отвод метана из ВП;
- дегазацию ВП «свечами»;
- увеличение расхода воздуха через очистную выработку.

III-е. Снижение величины возможных аэродинамических или механических импульсов, побуждающих вынос МВС в действующие выработки. Это может быть достигнуто:

- повышением устойчивости проветривания выемочного участка и шахты в целом;
- повышением эффективности вентиляционных сооружений;
- уменьшением вентиляционного давления;
- своевременной принудительной посадкой основной кровли.

Для успешной реализации изложенного, целесообразно доработать нормативное правовое обеспечение. Для этого предлагается внести ряд изменений в нормативные документы, касающиеся проектирования вентиляции и аэрологической безопасности:

1. Сделать обязательной для газовых шахт процедуру фактического определения утечек воздуха через ВП и концентрацию метана в них. На данный момент на многих шахтах используется расчетное значение коэффициента утечек, концентрация метан в них не измеряется.

2. Внести в качестве одного из критериев газовой безопасности «среднюю концентрацию метана в утечках воздуха на выходе из ВП», определяемую как отношение остаточного метановыделения из вмещающих пород к утечкам воздуха. Предлагается принять предельно допустимую концентрацию 3,5%, в случае ее превышения сделать обязательным ее снижение усилением дегазации, увеличением расхода воздуха, снижением нагрузки на забой.

Для схем проветривания типа 1-М в качестве еще одного критерия предлагается применять «максимальную концентрацию метана за ограждающей перемычкой на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой».

3. Контролировать концентрацию метана:

- в призабойной части очистной выработки, прилегающей к венти-

ляционной выработке у задних стоек крепи;

– в ВП, прилегающем к рабочей зоне, на участках выхода утечек из ВП. В частности, для схем проветривания типа 1-М за ограждающей перемычкой.

ВЫВОДЫ

Анализ механизмов реализации взрывов с участием МВС, содержащейся в ВП, позволил обосновать ряд направлений, обеспечивающих взрывобезопасность выемочных участков метанообильных угольных шахт, а именно:

- снижение общего количества метана в ВП;
- устранение возможных путей распространения горения в ВП из рабочей зоны;
- снижение величины возможного аэродинамического или механического импульса, побуждающего вынос МВС из ВП в действующие выработки.

Для успешной реализации предложенных мер предложено внести ряд изменений в нормативные документы, относящиеся к проектированию шахтной вентиляции и аэрологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 311 с.
2. Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт. – Москва, 2020. – 139 с.
3. Аэрология горных предприятий / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков, И.И. Медведев. – Москва: Недра, 1987. – 421 с.
4. Абрамов Ф.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии / Ф.А. Абрамов, Л.П. Фельдман, В.А. Святный. – Киев: Наукова думка, 1981. – 284 с.
5. Петросян А.Э. Научные основы расчета параметров горных выработок по газовому фактору / А.Э. Петросян, И.В. Сергеев, Н.И. Устинов. – Москва: Наука, 1969. – 128 с.
6. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах / А.Т. Айруни. – Москва: Недра, 1981. – 335 с.
7. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – Москва: Недра, 1980. – 360 с.

8. Иофис М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев. – Москва: Недра, 1985. – 248 с.

9. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – Ленинград: Недра, 1977. – 503 с.

Получено: 20.08.25

Рекомендовал к публикации д-р техн. наук Медведев В.Н.

UDC 621.315.231:622.33.012

V.A. BEZBORODOV, director,

G.B. TYNDA, head of department,

R.V. BEREGOVOY, research worker; GBU MAKNI, Makeyevka

**PROVISION OF EXPLOSION SAFETY
OF WORKING AREAS OF COAL MINES
WITH HIGH METHANE CONTENT**

The analysis has been carried out of mechanisms of fire spreading in coal mines associated with involving of methane contained in interstices of extracted area in burning action. The main factors have been determined which affect the probability of explosion. Basic trends in provision of explosion safety of working areas with high methane content have been stated.

Keywords: coal mine, working area, extracted area, methane, ignition, explosion.

УДК 622.232.72

И.В. КОСАРЕВ, директор,
А.В. МЕЗНИКОВ, зам. директора по науч. работе,
В.В. КОСАРЕВ, канд. техн. наук, ученый секретарь,
А.В. КОВАЛЕНКО, зав. лаб.,
А.В. МЕМЕХ, гл. конструктор; ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», г. Донецк

СОЗДАНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ СИСТЕМ ВЫСОКОНАПОРНОГО ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ, ПЫЛЕВЗРЫВОЗАЩИТЫ И ФИЛЬТРАЦИИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Предоставлены результаты лабораторных исследований, стендовых и шахтных испытаний систем высоконапорного орошения и фильтровального оборудования, приведены структурные схемы и основные параметры каскадных фильтровальных станций очистных и проходческих комбайнов.

Ключевые слова: высоконапорная система пылеподавления, взрывозащита, щелевой фильтр, тонкость фильтрации, давление.

Одна из наиболее трудно решаемых задач при проведении горных выработок – борьба с пылью, являющейся источником взрывов и профзаболеваний шахтеров. Для снижения пылеобразования в очистных и проходческих забоях необходим перевод горных комбайнов на высоконапорное орошение при давлении воды от 8 до 15 МПа и расходом от 1,1 до 2,5 л/мин на след резания сразу за режущей кромкой каждого резца. При этом выходное отверстие, специальной конфигурации пневмогидрооросителя, формирующего струю аэрозоля, требует воду высокой степени очистки в фильтровальной станции, а большая производительность комбайна – ее высокой пропускной способности.

Цель работы – определение основных параметров каскадных фильтровальных станций для высоконапорных систем пылеподавления и пылевзрывозащиты очистных и проходческих комбайнов.

Для повышения уровня пылеподавления, пылевзрывозащиты и эффективности борьбы с воспламенением метана фрикционными искрами ранее созданы системы высоконапорного орошения горных комбайнов на базе встроенных фильтровальных установок для подготовки достаточной по тонкости очистки шахтной воды [1, 2, 3]. Экспериментальным путем создан типоразмерный ряд оросителей с различными конфигурацией и

диаметрами выходных отверстий: 0,5 мм, 0,65 мм, 0,8 мм, 0,9 мм и 1,1 мм. Проведены испытания для определения характеристик оросителей при давлении воды: 2 МПа, 5 МПа, 10 МПа, 15 МПа, 20 МПа и засора типоразмерного ряда. Зависимость расхода воды от диаметра сопла оросителя и его конфигурации при различных давлениях показана на рис. 1.

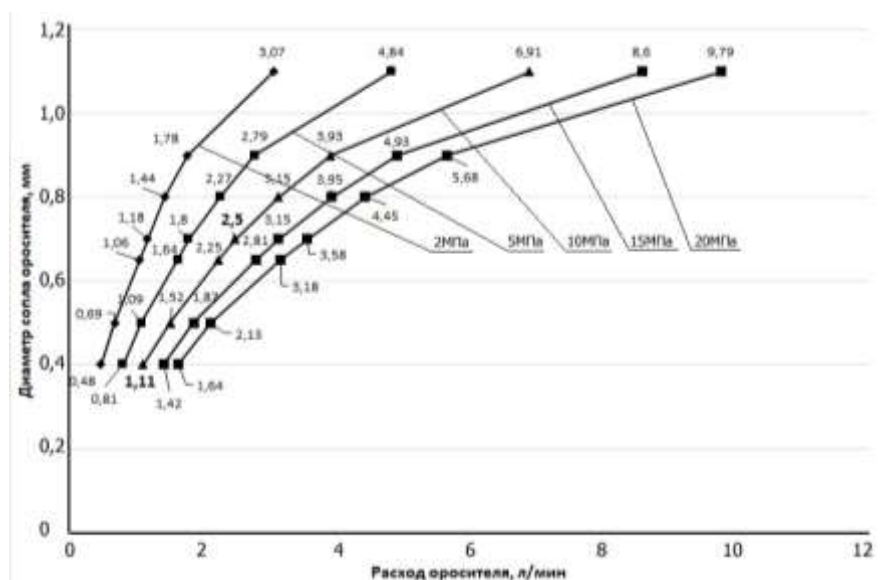


Рис. 1. Зависимость расхода воды от диаметра сопла оросителя

Испытания на засор показали, что оросители с диаметром сопла 0,5 мм подвержены интенсивному засорению уже фракциями 0,25 мм, а ороситель с диаметром сопла 0,65 мм не засорялся взвесью этих фракций. Была установлена зависимость между диаметром сопла D_c и максимальным диаметром частиц d_{max} для гарантированного, без засорений, выхода аэрозоля: $D_c \geq 2,6 d_{max}$. Для определения тонкости фильтрации воды для стабильной работы высоконапорных систем орошения с экспериментальными оросителями был изготовлен универсальный сетчатый фильтр, в котором предусмотрена возможность установки сеток с разными ячейками. Испытания показали, что сетка с ячейками 0,3х0,3 мм успешно защищает оросители с диаметром сопла 0,8 мм. При применении в системе высоконапорного орошения оросителей с соплами 0,4 и 0,8 мм гарантированно может использоваться вода, очищенная от взвеси универсальным фильтром с ячейками 0,1х0,1 мм или с тонкостью фильтрации 100 мкм.

Одним из важнейших результатов данной работы было создание серийной высоконапорной системы внешнего орошения проходческого комбайна П110 с давлением 10 МПа. Общий вид комбайна П110 с системой высоконапорного орошения приведен на рис. 2.

На стреле исполнительного органа этого комбайна были установлены трубчатые дуги с оросителями, через которые тонкодисперсная вода под давлением 10 МПа с расходом 100 л/мин поступала в зону разрушения забоя, обеспечивая снижение запыленности до уровня от 111 до 200 мг/м³.

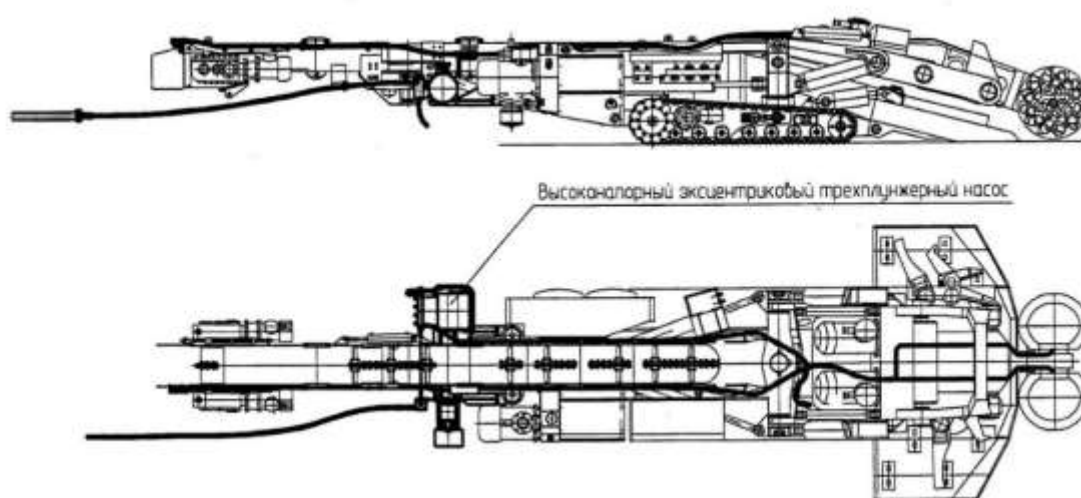


Рис. 2. Комбайн проходческий П110 с системой для высоконапорного внешнего орошения и встроенной фильтровальной установкой

В дальнейшем ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» разработал, изготовил и оснастил проходческий комбайн КПД высоконапорной системой для внешнего орошения (рис. 3).



Рис. 3. Проходческий комбайн КПД с высоконапорной системой для внешнего орошения

Помимо штатной системы орошения на комбайне был установлен трехплунжерный насос производительностью 100 л/мин с напорным давлением 15 МПа, а также высоконапорный фильтр с тонкостью фильтрации 100 мкм, обеспечивающие подачу воды на внешние оросители и два водовоздушных эжектора. Тонкодисперсная водовоздушная смесь от эжекторов, обволакивая исполнительный орган комбайна, эффективно обеспечивала подавление углепородной пыли и обзор забоя при его разрушении.

Ранее был разработан и испытан фильтр самопромывающийся СНД300/40.05.010, предназначенный для очистки рабочей жидкости механизированных крепей. Его особенностью является очистка неразрушаемых фильтроэлементов щелевого типа противотоком жидкости без разборки фильтра и без остановки насосной станции. Фильтр рассчитан на номинальное давление 32 МПа с расходом 100 л/мин и тонкостью фильтрации 50 мкм, предназначен для совместной работы с насосными станциями типа СНД и освоено его серийное производство. Кроме того, были разработаны и испытаны фильтры штрековые ФШП и ФШП-01, предназначенные для очистки механических загрязнений воды, подаваемой насосной установкой в системы пылеподавления, охлаждения электродвигателей и электроаппаратов, борьбы с фрикционным искрением на очистных и проходческих комбайнах, а также для фильтрации эмульсий механизированных крепей [4]. Основные параметры фильтров ФШП и ФШП-01 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры фильтров ФШП и ФШП-01

Наименование параметра	Параметра фильтра:	
	ФШП	ФШП-01
Номинальный расход, л/мин	100	300
Номинальное давление, МПа	15	32
Тонкость фильтрации, мкм	50	50
Перепад давления, МПа	4	4
Масса, кг	190	200

Кроме того, разработаны и апробированы в шахтных условиях фильтры типа Ф-25, выполненные на базе неразрушаемых фильтроэлементов щелевого типа, применяемые для очистки эмульсии гидросистемы механизированных крепей в составе насосных станций. Фильтры Ф-25 могут работать под давлением от 30 до 40 МПа с пропускной способностью от 150 до 200 л/мин, обеспечивая тонкость фильтрации водомасляной эмульсии 50 мкм.

В результате НИР и ОКР, выполненных институтом, были:

- определены характеристики оросителей высоконапорных систем для орошения очистных и проходческих комбайнов и выбраны оптимальные конфигурации и размеры сопел оросителей, а также установлена тонкость очистки воды 100 мкм;
- разработаны, изготовлены и испытаны в шахтных условиях высоконапорные системы для внешнего орошения проходческих комбайнов П110 и КПД,
- разработаны конструкции, освоено изготовление, в т.ч. серийное производство, ряда щелевых фильтров с тонкостью фильтрации 50, 100, 250 и 500 мкм неразрушаемой конструкции с автоматической самопромывкой для горно-шахтного оборудования.

В настоящее время первоочередной задачей ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» является разработка каскадных фильтровальных станций для импортозамещающего очистного комбайна КДК1000 и проходческого комбайна непрерывного действия КПФ, как основных перспективных горных машин для подготовки и отработки высоконагруженных лав на пластах мощностью от 2,5 до 5,5 м, на которые приходится 60 % всей подземной добычи угля в РФ [5, 6].

Для определения давления на фильтроэлементы и корпусную часть фильтровальной станции проведен расчет с учетом падения давления воды при перемещении воды в рукаве водовода забойного ВЗВ-38 длиной 500 м при углах наклона лавы от 0 до 35° в случаях подвода одним либо двумя рукавами (табл. 2).

Таблица 2

Падение давления в рукаве водовода забойного ВЗВ-38 длиной 500 м при угле наклона лавы от 0 до 35° при максимальном расходе воды 640 л/мин

Количество рукавов ВЗВ-38, шт.	Угол наклона лавы, град	Падение давления, МПа
Один	0	13,4
	35	15,7
Два	0	3,4
	35	5,7

Анализ табл. 2 показал, что при давлении 10 МПа на очистном комбайне давление на насосной установке энергопоезда должно составлять не менее 25,7 МПа при одном рукаве ВЗВ-38 и 15,7 МПа – при двух. Очевидно, что наиболее приемлем вариант с двумя водоподводящими рукавами, при этом подача воды через каждый рукав будет составлять 320 л/мин.

Таким образом, исходя из требований [7], структурная схема каскадного фильтровального оборудования системы для высоконапорного пылеподавления и пылевзрывозащиты очистного комбайна КДК1000 будет иметь следующий вид (рис. 4).

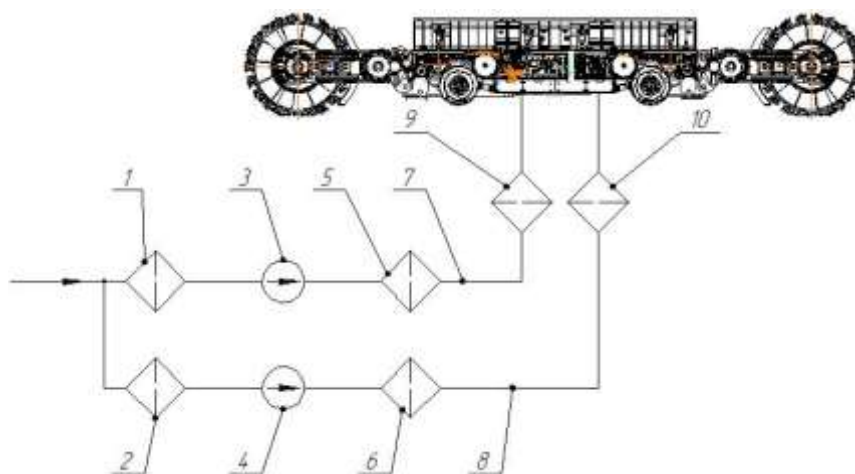


Рис. 4. Структурная схема каскадного фильтровального оборудования высоконапорной системы для пылеподавления и пылевзрывозащиты очистного комбайна КДК1000

1, 2 – фильтры с тонкостью фильтрации 500 мкм на давление до 3 МПа и расходом 320 л/мин; 3, 4 – насосные станции на давление 20 МПа и расходом 320 л/мин; 5, 6 – фильтры с тонкостью фильтрации 250 мкм на давление 20 МПа и расходом 320 л/мин; 7, 8 – рукава водовода забойного ВЗВ-38 длиной 500 м; 9, 10 – фильтры с тонкостью фильтрации 100 мкм на давление 20 МПа и расходом 320 л/мин

Для проходческого комбайна непрерывного действия КПФ расход воды для системы орошения значительно меньше, чем очистного комбайна, т.к. его производительность составляет до 8 т/мин. В соответствии с [7] при данной производительности и нормируемом удельном расходе воды от 15 до 20 л/т необходимо обеспечить подачу воды в систему для пылеподавления и пылевзрывозащиты проходческого комбайна в объеме 160 л/мин при давлении 10 МПа. В связи с этим, системе для высоконапорного орошения режущего барабана комбайна непрерывного действия достаточно одной высоконапорной линии при расходе 160 л/мин.

Учитывая, что габариты высоконапорной насосной установки и каскадной фильтровальной станции обеспечивают возможность их установки в тендерной части комбайна, структурная схема каскадного фильтровального оборудования комбайна имеет следующий вид (рис. 5).

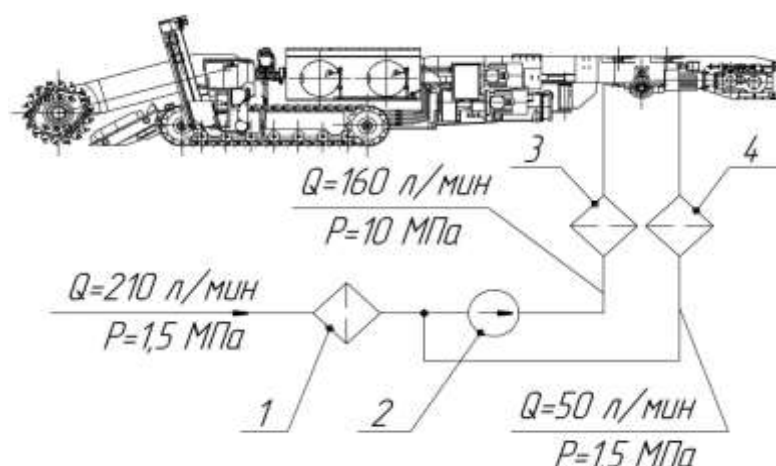


Рис. 5. Структурная схема каскадного фильтровального оборудования высоконапорной системы для пылеподавления и пылевзрывозащиты проходческого комбайна непрерывного действия

- 1 – фильтр с тонкостью фильтрации 500 мкм на давление до 3 МПа;
2 – насосная станция на давление 12 МПа и расходом 160 л/мин;
3 – фильтр с тонкостью фильтрации 100 мкм на давление до 12 МПа и расходом 160 л/мин;
4 – фильтр с тонкостью фильтрации 100 мкм на давление до 3 МПа и расходом 50 л/мин

Параметры фильтровального оборудования представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные параметры каскадных фильтровальных станций высоконапорных систем пылеподавления и пылевзрывозащиты горных комбайнов КДК1000 и КПФ

Наименование и обозначение станции	Наименование каскада	Параметры каскада и их размерность	Значение параметра
1	2	3	4
Станция каскадная фильтровальная лавы СКФ320Л	Входящий	Давление, МПа	3
		Расход, л/мин	320
		Тонкость, мкм	500
	Выходящий	Давление, МПа	20
		Расход, л/мин	320
		Тонкость, мкм	250
	Комбайновый	Давление, МПа	20
		Расход, л/мин	320
		Тонкость, мкм	100

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
Станция каскадная фильтровальная подготовительного забоя СКФ160П	Входящий	Давление, МПа	3
		Расход, л/мин	210
		Тонкость, мкм	500
	Выходящий	Давление, МПа	12
		Расход, л/мин	160
		Тонкость, мкм	100

ВЫВОДЫ

На основании анализа работающих на шахтах отечественных и зарубежных оросительных систем выявлено, что горные комбайны с высоконапорным пылеподавлением и пылевзрывозащитой, соответствующие требованиям ГОСТ Р 57071-2016, отсутствуют.

Для повышения от 3 до 5 раз уровня пылеподавления и пылевзрывозащиты очистных и проходческих комбайнов необходимо создание современных высоконапорных систем для орошения, в т.ч. высокопроизводительных каскадных фильтровальных станций.

Проведенные за последние годы исследования систем для высоконапорного орошения и их фильтровального оборудования, разработок оригинальных конструкций, технологий их изготовления и внедрения позволяет основать на базе экспериментального производства института «ДОНУГЛЕМАШ» научно-производственный центр для выпуска высокоэффективных систем для пылеподавления, пылевзрывозащиты и фильтрации рабочих жидкостей горного и дробильно-обогащительного оборудования. Это ускорит развитие этого важнейшего направления техники для безопасности добычи и переработки полезных ископаемых с обеспечением его господдержки в аспектах модернизации производства и освоения новых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Провести анализ состояния и определения возможности создания эффективной системы пылеподавления на горных машинах на базе высоконапорного орошения: отчет о НИР. – Архив ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» А/6099. – Донецк, 1995. – 94 с.
2. Создать современную систему орошения для очистных комбайнов с целью повышения пылеподавления и эффективной борьбы с воспламенением метана фрикционными искрами: отчет о НИР / Донгипроуглемаш. – Архив ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» А/6556. – Донецк, 2007. – 29 с.
3. Акт и Протокол приемочных испытаний опытного образца про-

ходческого комбайна П110 с системой высоконапорного орошения с давлением воды не менее 10 МПа.

4. Современные фильтры ГП «Догипроуглемаш» для защиты гидравлических систем горных машин от загрязнений/ Косарев В.В., Стадник Н.И., Варшавский Ю.И. [и др.] // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. – Донецк: Астро, 2008. – С. 508-537.

5. Система пылеподавления, охлаждения и фрикционного искрогашения для высокопродуктивного автоматизированного комбайна КДК1000 / И.В.Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / ГУ МАКНИИ. – 2024. – Вып. 3 (66). – С.136-144.

6. Импортозамещающий очистной комбайн КДК1000 для продуктивной и техногенно безопасной отработки угольных пластов мощностью 2,5-5,5 м / И.В.Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев [и др.] // Научный вестник НИИ «Респиратор». – 2025. – 1 (62). – С. 51-63.

7. ГОСТ Р 57071-2016. Оборудование горно-шахтное. Нормативы безопасного применения машин и оборудования на угольных шахтах и разрезах по пылевому фактору: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2017-06-01/ Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 22 с.

Получено: 15.07.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Лысенко Н.М.

UDC 622.232.72

I.V. KOSAREV, director,

A.V. MEZNIKOV, deputy director for science

V.V. KOSAREV, scientific secretary, Ph. D. Eng.,

A.V. KOVALENKO, head of laboratory,

A.V. MEMEKH, design manager; GBU DONUGLEMASH, Donetsk

**CREATION OF IMPORT-SUBSTITUTING SYSTEMS
FOR HIGH-PRESSURE DUST SUPPRESSION,
DUST AND EXPLOSION PROTECTION AND FILTRATION
OF POWER FLUIDS OF MINING MACHINES**

The results of laboratory researches, benchmark and mine tests of high-pressure irrigation systems and filtration equipment are presented, as well as

structural diagrams and basic parameters of cascade filter stations for shearers and tunneling machines.

Keywords: high-pressure dust suppression system, explosion protection, aerosol jet, slotted filter, filtration rating, drop of pressure.

УДК 622.232.72

**И.В. КОСАРЕВ, директор,
А.В. МЕЗНИКОВ, зам. директора по науч. работе,
В.В. КОСАРЕВ, ученый секретарь, канд. техн. наук,
В.С. ПАЛЬЧИК, зав. отд.,
С.В. БОЙКО, ведущий конструктор; ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», г. Донецк**

О РАЗРАБОТКЕ КОМБАЙНА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ КПФ

Обоснована необходимость создания отечественного проходческого комбайна непрерывного действия, описаны новые конструктивные решения создаваемого комбайна и его сравнительные технические характеристики с зарубежными аналогами.

Ключевые слова: комбайн непрерывного действия, режущий барабан, гусеничный движитель, пылевзрывозащита, след резания, фрикционное искрение.

Зарубежные комбайны непрерывного действия типа «Континиус Майнер» фирм «Joy» (США) 12СМ30, 12СМ18, 12СМ15, «Sandvik» (Швеция) МС350, «Voest Alpine» (Австрия) АВМ20 используются на шахтах России при подготовке высоконагруженных лав для проведения протяженных горных выработок в угольных пластах с небольшими присечками вмещающих пород. Средние темпы проведения выработок этими комбайнами составляют от 400 до 900 м/мес. [1]. Для увеличения производительности комбайны непрерывного действия оборудуют встроенными бурильно-анкервальными установками, что обеспечивает повышение темпов проходки в 1,5 раза. В настоящее время поставки комбайнов и их запчастей прекращены вследствие санкций. Поэтому создание и внедрение отечественного комбайна непрерывного действия, максимально адаптированного к условиям угольных предприятий России, является актуальной задачей.

Цель работы – создание отечественного комбайна непрерывного действия КПФ.

Создаваемый комбайн КПФ непрерывного действия предназначен для механизации отбойки и погрузки угля при проведении горизонтальных и наклонных до $\pm 12^\circ$ выработок с плоской кровлей сечением от 11 до 22 м² в проходке при сопротивляемости угля резанию до 400 кН/м.

Комбайн КПФ (рис. 1) состоит из:

– несущей рамы 1 – высокопрочной базовой конструкции машины;

- фронтального исполнительного органа 2 барабанного типа со встроенными электродвигателями и внутренним высоконапорным орошением;
- погрузочного органа 3 и скребкового конвейера 4 с электроприводом на поворотной разгрузочной секции;
- гусеничной ходовой части 5 на базе высокомоментных гидромоторов;
- электрооборудования, в т.ч. автономного электроблока 6 с напряжением питания 1140 В;
- гидросистемы, в т.ч. насосной станции 7 с автономным электроприводом;
- системы пылеподавления, пылевзрывозащиты и охлаждения со встроенными высоконапорной насосной станцией 8 и фильтровальной установкой;
- встроенных бурильных установок 9 для анкерного крепления.

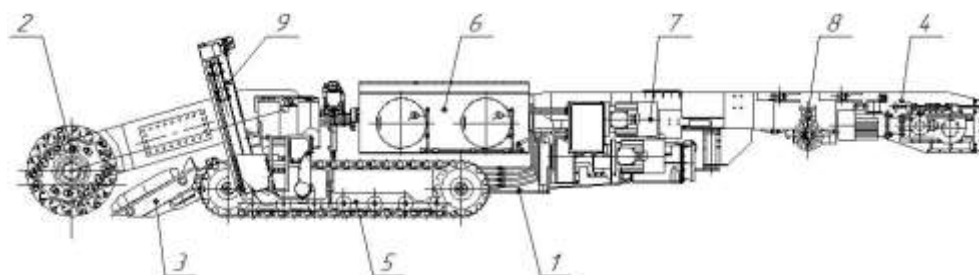


Рис. 1. Комбайн проходческий непрерывного действия КПФ

Основные параметры комбайна КПФ по сравнению с аналогами [2, 3, 4] приведены в таблице.

Таблица

Основные параметры комбайна КПФ в сравнении с аналогами

Наименование показателя	КПФ (Россия)	MB650 «Sandvik» (Швеция)	12CM30 «JOY» (США)	CM845 «Caterpillar» (США)
1	2	3	4	5
Высота резания:				
– минимальная, мм	2400	2800	2400	2800
– максимальная, мм	3800	4500	4900	3900
Ширина резания, мм	4600...5800	5200...5600	4600...5800	4600...5800
Мощность электродвигателя резания, кВт	2 x 160	270/315	2x170	2x173
Среднее удельное давление на почву, МПа	0,15	0,22	0,23	0,23

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Скорость перемещения, м/мин	7,0	3,5/7,0/12	4,6...19,8	0...19,8
Клиренс, мм	300	270	305	350
Установленная мощность, кВт	590	547	610	674
Напряжение питания, В	1140	1000	1050	1000
Количество бурильно - анкеро- ровальных установок	6	6	6	6
Габаритные размеры, мм:				
– ширина	3400	3210	н. д.	3350
– высота	1650	2800		1700
– длина	13000	11200		11900
Масса, т	80	97	85	92

Комбайн должен обеспечивать:

– эффективное разрушение массива по всей площади забоя при выемке пласта с прослойками и возможной «присечкой» пород кровли или почвы, суммарной толщиной до 5 % вынимаемой мощности пласта при крепости пород до 3 единиц по шкале проф. М.М. Протоdjяконова;

– перемещение комбайна с разрушением забоя и выполнение необходимых маневров в выработках с углом наклона до $\pm 12^\circ$ и «слабыми» почвами;

– отбор разрушенного угля из забоя выработки и транспортирование его скребковым конвейером комбайна с перегрузкой в шахтные транспортные средства.

Исполнительный орган комбайна представляет собой режущий барабан с горизонтальной осью вращения, состоящий из четырех частей, установленных в подшипниковых опорах на поворотном рычаге. Рычаг шарнирно закреплен на несущей раме комбайна с возможностью его качания в вертикальной плоскости гидродомкратами относительно несущей рамы.

В связи с вступлением в силу ГОСТ Р 57071-2016 «Оборудование шахтное. Нормативы безопасного применения машин и оборудования на угольных шахтах и разрезах по пылевому фактору» большая часть зарубежных комбайнов непрерывного действия вследствие отсутствия подачи компактной струи воды на след резания, перестала соответствовать действующим в РФ требованиям безопасности. Кроме того, при эксплуатации этих комбайнов выявлена крайне низкая эффективность системы внешнего орошения исполнительного органа, а также системы пылеулавливания в случае комплектации комбайнов пылеулавливающими установками. Исследования, проведенные специалистами АО «НЦ ВостНИИ» совместно с представителями ООО «Джой Глобал» при эксплуатации комбайна 12СМ30 непрерывного действия, выявили следующее [5]:

- запыленность воздуха на рабочем месте машиниста с работающим пылеотсосом – $194,8 \text{ мг/м}^3$, т.е., эффективность пылеотсоса – 24,5 %;
- неполное раскрытие факела оросителей тонкодисперсной воды с охватом режущего барабана по диаметру при давлении воды от 1,5 до 2,5 МПа и расходе от 110 до 115 л/мин;
- водовоздушный факел системы орошения не охватывает левую и правую части режущего барабана при его ширине 5,8 м на величину от 0,2 до 0,4 м.

Низкая эффективность пылеподавления зарубежных комбайнов непрерывного действия объясняется полным исключением из процесса главной стадии процесса пылеподавления – смачивания пыли до перехода от пылевого ядра в витающую пылегазовую смесь.

Для обеспечения требуемого уровня пылеподавления и пылевзрывозащиты комбайна КПФ разработан принципиально новый исполнительный орган с высоконапорным внутренним орошением. Кроме того, комбайн оснащен компактной высоконапорной насосной станцией и двухкаскадной фильтровальной установкой.

На рис. 2 представлены правые центральная 1 и периферийная 2 части режущего барабана со встроенным электродвигателем 3, планетарными тихоходной 4 и быстроходной 5 передачами, подшипниковыми опорами 6 и 7, водоподводящим устройством 8 с водораспределителем 9 и обечайками 10 и 11, оснащенными резцедержателями 12 с резцами и пневмогидрооросителями, а также системой водяных каналов 13, обеспечивающих подвод от 1,0 до 1,5 л/мин воды под давлением 10 МПа на каждый резец. Количество резцов на барабане может быть от 106 до 160, требующие суммарный расход воды под давлением от 106 до 160 л/мин.

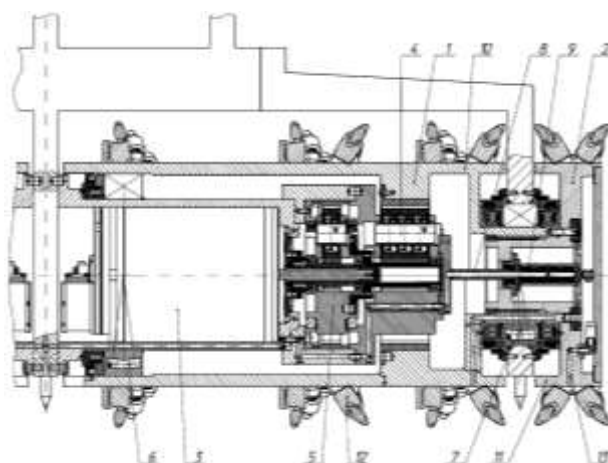


Рис. 2. Режущий барабан комбайна КПФ (правая часть)

Принципиально новая система пылеподавления, пылевзрывозащиты и охлаждения комбайна оснащена встроенными в хвостовую часть скребкового конвейера высоконапорной насосной станцией, многокаскадной фильтровальной установкой и обеспечивает:

- давление воды не менее 10 МПа с тонкостью фильтрации 100 мкм;
- внутреннее и внешнее орошение мест разрушения и перегрузки угля при синхронной, с включением комбайна, подаче воды;
- подачу 75% воды в зону резания от суммарного расхода 210 л/мин;
- подачу воды под давлением 10 МПа и расходом не менее 1,0 л/мин на каждый из оросителей струями водного аэрозоля, направленными на след резания от режущей кромки инструмента с дальностью не более 140 мм от сопла оросителя;
- подачу воды под давлением не более 2 МПа для охлаждения двигателей исполнительного органа комбайна.

Важнейшей задачей при большой скорости проведения выработки комбайнами непрерывного действия с анкерным креплением шириной от 4,6 до 5,8 м является оперативное возведение крепи с обеспечением 100 % соответствия безопасному паспорту крепления. При проходке выработок прямоугольного сечения комбайном КПФ будут использоваться полностью инкапсулированные высокопрочные стальные анкеры длиной от 1,6 до 2,4 м, широко применяемые на шахтах РФ. В боковые стенки выработок будут устанавливаться стекловолоконные анкеры, которые разрушаются шнеками очистных комбайнов при последующей отработке подготовленных запасов.

Максимальная эффективность крепления обеспечивается установкой анкеров до начала расслоения пород кровли и образования трещин в угольном пласте [6]. С этой целью в комбайне КПФ непосредственно за исполнительным органом на расстоянии 1 м от забоя предусмотрена установка мобильного распорного устройства, верхняк которого удерживает слои непосредственной кровли в сжатом состоянии при возведении первого призабойного ряда анкеров. Это устройство представляет силовой шарнирный верхняк, устанавливаемый между стенками выработки непосредственно за режущим барабаном. Расстояние между шарнирными соединениями верхняка от 0,9 до 1,2 м, а их количество в зависимости от ширины выработки составляет от 4 до 6 балок. Каждая балка силового верхняка оснащена гидростойкой с распорным усилием 300 кН и установлена в раме распорного устройства с возможностью взаимодействия с почвой выработки. Рама этого устройства прикреплена к несущей раме комбайна с возможностью перемещения относительно нее вдоль выработки на расстояние до 1200 мм, позволяющее обеспечивать крепление выработки при пе-

ремещении комбайна с разрушением забоя. Верхняк обеспечивает приспособляемость к неровностям кровли и удельное сопротивление расслаиванию пород 300 кН/м при начальном распоре, а также рабочее сопротивление при технологических паузах и нештатных простоях до 400 кН/м.

Для дополнительной безопасности операторов-крепильщиков от обрушения фрагментов кровли, на балках силового верхняка предусмотрены дополнительные защитные перекрытия и боковые прижимные щиты, контактирующие со стенками выработки и предотвращающие образование трещин в угольном пласте до установки боковых анкеров.

Электродвигатели и редукторы комбайна с поворотного рычага перенесены внутрь режущего барабана, обеспечивая оптимальную ширину рамы исполнительного органа и равномерное размещение анкероувальных установок по ширине выработки и перпендикулярное расположение анкеров по отношению к кровле, повышающее надежность крепления.

В комбайне КПФ использованы высокомоментные гидромоторы на каждой из 4-х приводных звезд обоих гусеничных движителей, обеспечивающих удельное давление на почву 0,15 МПа, что в 1,5 раза меньше, чем у зарубежных аналогов. Комбайн КПФ имеет повышенную устойчивость, особенно на глинистых почвах в обводненных условиях, что уменьшает самопроизвольные смещения при пиковых нагрузках на исполнительный орган и снижает травматизм горнорабочих.

Соотношение тягового усилия гусеничных движителей и массы машины у создаваемого комбайна КПФ в 1,7 раза выше, чем у зарубежных аналогов, а наличие опции с мобильным распорным устройством, имеющим силовую гидравлическую связь с несущей рамой комбайна, позволяет гарантировано преодолевать наклонные участки выработок с углом от 18° до 25° без сползания комбайна и возникновения опасных ситуаций для горнорабочих.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый комбайн непрерывного действия КПФ оснащен:

- принципиально новым исполнительным органом с существенно повышенным уровнем пылеподавления и пылевзрывозащиты;
- мобильным распорным устройством, повышающим надежность анкерного крепления;
- гусеничной ходовой частью, адаптированной к работе в условиях «слабых» почв и обводненных выработок;
- встроенными насосной установкой и двухкаскадной фильтровальной станцией для высоконапорного орошения.

Внедрение комбайна позволит вести проходку выработок со скоростью от 700 до 1500 м/мес. при подготовке высоконагруженных лав, а также обеспечит машиностроительные предприятия выпуск импортозамещающего наукоемкого и высокотехнологичного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выполнить НИОКР по разработке высокопроизводительного проходческого комбайна непрерывного действия с фронтальным исполнительным органом. Отчет НИР/ Технический архив ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» А/0090, 2023. – 120 с.
2. Компания Joyl - URL:<http://www.joyglobal.com>.
3. Caterpillar - URL:<https://mining.cat.com> (дата обращения 2023-12-22).
4. The Mechanics of Mining More | Sandvik Continuous Miner Range – URL:<https://www.home.sandvik.ru/> (дата обращения 2023-12-22).
5. Испытания проходческого комбайна 12СМ30 в условиях филиала «Шахта «Ерунаковская-VIII» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» / С.И. Голоскоков, В.А. Копытин, М.Ю. Коптев, А.П. Кострыкин // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2017. – № 2. – С. 33-41.
6. Заводские и шахтные испытания крепи анкерной с предварительным натяжением / В.П. Тациенко, К.А Бубнов, А.Г. Нашатырев [и др.] // Технологические вопросы безопасности горных работ: вестник / КузГТУ. – 2025. – № 4. – С. 62-68.

Получено: 09.07.2025

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Ильин А.И.

UDC 622.232.76

I.V. KOSAREV, director,
A.V. MEZNIKOV, deputy director for science,
V.V. KOSAREV, scientific secretary, Ph. D. Eng.,
V.S. PALCHIK, head of department,
S.V. BOYKO, lead designer; GBU DONUGLEMASH, Donetsk

CREATION OF THE CONTINUOUS MINER KPF

The necessity of creation of a domestic continuous miner is justified and the new structural concepts of the created miner as well as its performance specifications as compared to foreign counterparts are described, both security

and industrial hygiene levels during operation of import-substituting miner KPF are represented.

Keywords: continuous miner, cutting drum, caterpillar drive, dust-explosion protection, cutting trace, friction sparking.

УДК 622.673.2

**С.П. ШАБАНОВ, зам. директора,
Н.Н. СТРОЕВ, зав. лаб.,
М.В. КРИВОНОЖЕНКОВ, ст. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ»,
г. Макеевка**

ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ШАХТНОЙ ДЕПРЕССИИ И ДЕФОРМАЦИЙ В СТАНКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОПРА

Выполнен анализ способов измерений шахтной депрессии и деформации элементов станка металлического копра. Рассмотрено оборудование для измерения шахтной депрессии и деформаций металлоконструкций копров.

Ключевые слова: шахтная депрессия, манометр, измерение, деформация.

Проблема измерения шахтной депрессии приобретает особую актуальность в связи с тем, что современные вентиляционные системы работают в условиях повышенных нагрузок. Определение величины депрессии позволяет:

- оптимизировать работу вентиляционного оборудования;
- предотвратить аварийные ситуации;
- обеспечить комфортные условия труда;
- продлить срок службы шахтных конструкций.

Цель статьи – ознакомление специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией шахтных копров, установленных на вентиляционных стволах, с особенностями измерения шахтной депрессии и деформаций элементов металлических копров.

Измерения шахтной депрессии, создаваемой вентилятором главного проветривания, проводят внутри станка копра, так как его конструкция является герметичной оболочкой, воспринимающей возникающие нагрузки. Измеряют давление внутри станка копра U-образным манометром и сравнивают с атмосферным давлением, разница этих давлений является величиной шахтной депрессии. Преимуществом этого способа является достаточная точность измерений, простота выполнения и обработки полученных данных. У U-образных манометров точность измерений составляет 0,5 мм вод. ст., для получения измерений с большей точностью возможно применение жидкостных микроманометров. Повышение точности снимаемых показаний в микроманометрах достигается применением наклонной

измерительной трубки. Депрессия выражается уравнением [1]:

$$h = (h_k - h_0) \cdot F \cdot \gamma, \text{ кг/м}, \quad (1)$$

где F – коэффициент наклона измерительной трубки, $F = \sin \alpha$;

α – угол наклона измерительной трубки микроманометра к горизонту, град;

h_k – отсчет по наклонной трубке, мм;

h_0 – начальный, так называемый нулевой, отсчет по наклонной трубке, мм;

γ – удельный вес жидкости, кгс/м³.

Для измерения депрессии наибольшее распространение получили жидкостные U-образные манометры (рис. 1), микроманометры ЦАГИ и ММН (рис. 2) [1].

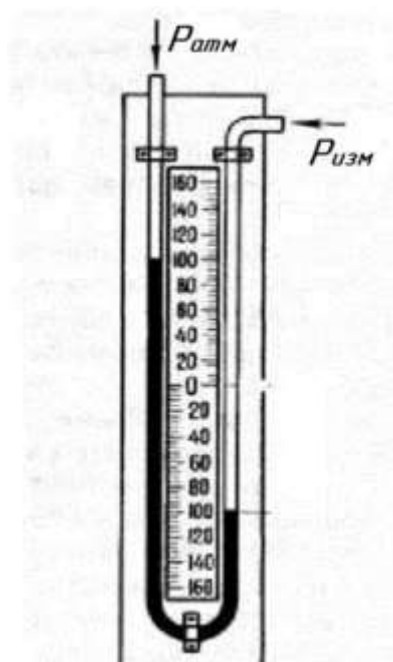


Рис. 1. Жидкостный U-образный манометр

Принцип действия U-образного манометра следующий. Атмосферное давление действует на жидкость с одной стороны трубки $P_{атм}$. Второе отверстие присоединено к измеряемой среде $P_{изм}$. Вследствие того, что жидкость обладает свойством несжимаемости, атмосферное давление, воздействуя на столб жидкости, заставляет подниматься ее часть, находящуюся после колена. Разница между нулевым значением и уровнем столба является измеряемым давлением.

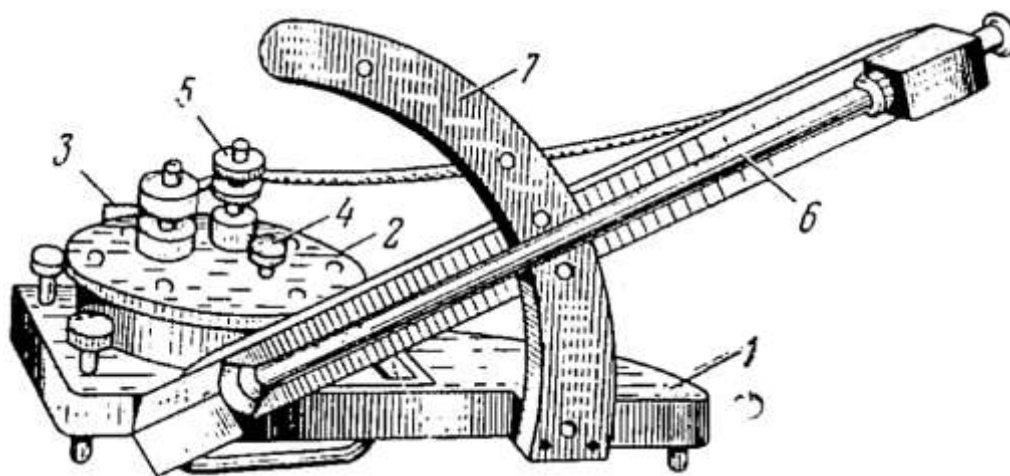


Рис. 2. Микроманометр ММН

1 – силуминовая плита, 2 – стальной резервуар, 3 – трехходовой кран, 4 – заливочная пробка, 5 – регулятор нулевого положения мениска, 6 – измерительная трубка

Микроманометр ММН (рис. 2) предназначен для измерения давления, разрежения и перепада давления в пределах от 0 до 200 мм вод. ст. Микроманометр ММН имеет верхние пределы измерений 50, 75, 100, 150 и 200 мм и пять положений измерительной трубки: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8. Вертикальное положение отсутствует. На силуминовой плите 1 укреплен стальной штампованный резервуар 2. Сверху резервуар герметически закрыт крышкой на резиновой прокладке. На крышке укреплены трехходовой кран 3, заливочная пробка 4 и регулятор 5 нулевого положения для подгонки мениска спирта в измерительной трубке к нулевой риске шкалы. При помощи небольшой стойки к плите 1 крепится кронштейн с наклонной измерительной трубкой 6.

Шкала микроманометров градуируется в миллиметрах, а трубка, в которой она расположена, заполняется спиртом. Во время работы необходимо периодически проверять ноль прибора, а также следить за положением прибора по уровням. Для четкой видимости мениска в стеклянной измерительной трубке прибора этиловый спирт должен быть окрашен метиловым красным красителем. Рекомендуемая консистенция красителя в спирте 0,05 г/л.

Прибор работает по принципу вытеснения этилового спирта из резервуара в измерительную стеклянную трубку. Поэтому включается прибор для измерений таким образом, чтобы абсолютное давление над спиртом в резервуаре было всегда больше, чем в измерительной трубке. При

этом уровень спирта в трубке будет подниматься, а в резервуаре – опускаться. Погрешность показаний микроманометра от 0,5% до 1,0% соответствующих верхним пределам измерений.

В местах с повышенной пульсацией давления воздуха могут наблюдаться постоянные колебания показаний. В таких случаях необходимо брать несколько отсчетов, охватив минимальное и максимальное показания, и определить среднее давление.

Для определения достоверной величины давления необходимо ввести следующие поправки: шкаловую, определяемую по кривой шкаловых поправок, имеющейся в паспорте прибора; температурную, указанную в заводском паспорте, когда они не менее 0,01 мм рт. ст. на 1°C, и добавочную.

При резких изменениях температуры окружающей среды, даже после введения всех поправок, давление, определенное прибором, отличается от истинного. Поэтому при большой разности температур прибора и окружающей среды необходимо применять формулу $\Delta P = 0,013 \Delta t^\circ$. Поправка имеет знак «+», если температура прибора ниже окружающей, и знак «–», если выше температуры окружающей среды.

Процедура замера шахтной депрессии и деформаций элементов в станке копра производится следующим образом. U-образный манометр устанавливаем на ровную горизонтальную поверхность или подвешиваем вертикально. Один конец U-образной стеклянной трубки соединяем с резиновой трубкой, и выводим за пределы станка копра. Второй конец трубки остается внутри станка копра. Атмосферное давление за пределами станка копра воздействует на жидкость, перемещая ее в стеклянной трубке. Таким образом измеряют разницу давлений в мм вод. ст.

Воздух, проходящий по выработкам, преодолевает сопротивление трения о стенки выработки, лобовые сопротивления армировки стволов, местные сопротивления, возникающие при изменении формы и направления воздушного потока при поворотах, сужениях, расширениях и т. п., поэтому большая часть депрессии расходуется на преодоление сопротивления трения. Величина местных сопротивлений не превышает 10% от всей суммы сопротивлений [2].

На рис. 3 приведена схема для измерения деформации элементов станка копра при воздействии депрессии.

Измерение величины деформации производится лазерным дальномером Bosch DLE70 Professional. Точность измерения этим прибором составляет ± 1 мм. Прибор устанавливают на твердую ровную поверхность, точка отсчета – центральный рельсовый проводник в станке копра. Проводится измерение расстояния от точки установки дальномера до центральной

части листа обшивки станка копра при отключенном ВГП шахты. Это измерение соответствует нулевой деформации при отсутствии влияния шахтной депрессии. После этого проводится такое же измерение расстояния при включенном ВГП. Разница этих расстояний и является деформацией металлической обшивки станка копра под воздействием шахтной депрессии.

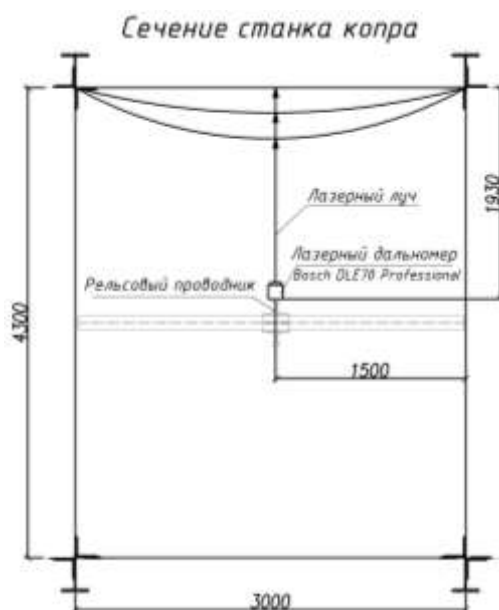


Рис. 3. Схема для измерения деформации элементов станка копра при воздействии депрессии

Результаты измерений шахтной депрессии и деформаций элементов копров будут использоваться в научно-исследовательской работе «Исследования негативного воздействия разряженной воздушной среды и ее колебаний на устойчивость и надежность металлических копровых сооружений с истекшим сроком эксплуатации», выполнение которой позволит повысить точность и объективность расчета на прочность металлических копров и оценку их технического состояния.

ВЫВОДЫ

Измерения показали эффективность применения U-образных манометров для определения шахтной депрессии. Точность измерений составляет 0,5 мм вод. ст. и является достаточной для практических целей.

Измерение деформации элементов копра с помощью лазерного дальномера Bosch DLE70 Professional показало достаточную точность, возможность получения достоверных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ф.А. Инструментальные средства и методы депрессионных съемок шахт / Ф.А. Абрамов, А.Ф. Милетин, В.Э. Стрейманн. – Москва: Недра, 1974. – 144 с.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка-Донбасс, 1989. – 319 с.

Получено: 21.08.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Лобода В.В.

UDC 622.673.2

**S.P. SHABANOV, deputy director,
N.N. STROEV, head of laboratory,
M.V. KRIVONozHENKOV, senior research worker; GBU MAKNI, I,
Makeyevka**

MEASUREMENTS OF MINE DEPRESSION AND DEFORMATIONS VALUES IN THE TOOL OF THE METALLIC HEADFRAME

The analysis has been carried out of measurements methods of mine depression and deformation of the elements of metallic headframe tool. The equipment has been reviewed for measurements of mine depression and deformations of headframe metallic structures.

Keywords: mine depression, manometer, measurement, deformation.

УДК 628.31

А.В. ВОЛОДИН, зав. лаб.,

С.А. ГРЕЧКА, мл. науч. сотр.,

В.А. ИВАНЧЕНКО, мл. науч. сотр.,

Т.А. ПРИДУБКОВА, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ОЧИСТКА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА ШАХТНЫХ ВОД КАРБОНАТСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Определена удельная эквивалентная масса химических элементов и соединений, осаждаемых из воды неорганическими карбонатными солями щелочноземельных и щелочных металлов. В процессе очистки многокомпонентного раствора, моделирующего шахтные воды Донбасса, установлены зависимости удельной эквивалентной массы осаждаемых химических веществ и их соединений от добавляемых карбонатов и определена эффективность очистки воды.

Ключевые слова: мел природный, сода кальцинированная техническая, удельная эквивалентная масса осаждаемых веществ, химическое осаждение, шахтная вода, очистка.

Проблема очистки агрессивных шахтных вод и их последующего использования актуальна для промышленных регионов с неблагоприятной экологической обстановкой и недостатком качественной питьевой и технической воды. В угольных бассейнах усредненный ионный химический состав стоков различен и зависит от множества природных и техногенных факторов. Применение на практике экономически целесообразных методов физической, химической и биологической очистки шахтных вод способствует восстановлению экосистем и благоприятно влияет на здоровье населения. Одним из доступных приемов очистки загрязненных вод на определенных этапах технологической схемы, помимо ионного обмена, сорбции, окисления и т.д., является химическое осаждение веществ, в том числе ионов тяжелых металлов.

Очистка кислых шахтных вод от ионных загрязнителей может проводиться с помощью неорганических щелочных реагентов – осадителей, к которым относятся распространенные карбонаты щелочноземельных и щелочного металлов – кальция, магния и натрия. Принцип химического осаждения ионных примесей заключается в их преобразовании в трудно-растворимые соединения, отделяемые от водного раствора в форме осадка.

В обработке технологических вод и кислых стоков применяются следующие карбонатные материалы: известняк, мел, мрамор, доломит, магнезит, сода кальцинированная [1, 2, 3, 4, 5]. Выбор карбонатного осадителя зависит от химического состава очищаемых вод, значения водородного показателя pH , предполагаемой структуры перерабатываемого или утилизируемого осадка. В частности, измельченный мел, полученный из отходов производства, снижает концентрацию фтора в воде с образованием осадка кальция фтористого [4]. 40 % раствор карбоната натрия в значительной мере осаждает из воды ионы никеля, кобальта и олова в виде мелкокристаллических гидроксокарбонатов, что упрощает технологию извлечения ценных металлов из промышленных стоков [5].

Цель работы – исследование зависимости удельной эквивалентной массы осаждаемых веществ при добавлении мела природного или соды кальцинированной для очистки многокомпонентного раствора, моделирующего состав шахтных вод Донбасса.

Объекты исследований для химического осаждения при очистке шахтной воды:

- мел природный технический дисперсный МТД-2, добытый на Петропавловском меловом месторождении, содержащий не менее 96,84 % карбонатов кальция и магния в пересчете на карбонат кальция, характеризующийся значительной пористостью от 35 % до 50 %, возможностью физической адсорбции примесей, нейтрализации и pH -коррекции кислых стоков [6];

- сода кальцинированная техническая марки Б, получаемая на производстве аммиачным методом из известняков Северо-Баксанского месторождения и рапы Сиваша, содержащая не менее 99,50 % карбоната натрия, обладающая выраженной способностью к нейтрализации кислых и подщелачиванию различных типов воды [7].

Исследуемая в статических условиях удельная эквивалентная масса осаждаемых элементов $SE_{\text{факт}}$, мг-экв/г, по компонентам раствора определялась по формуле [8]:

$$SE_{\text{факт}} = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}) \cdot V}{M_{\text{экв}} \cdot m},$$

где $C_{\text{нач}}$ – исходная концентрация химического компонента в модельном растворе до очистки карбонатным реагентом, мг/дм³;

$C_{\text{кон}}$ – конечная концентрация химического компонента в очищенной воде после взаимодействия с карбонатным реагентом, мг/дм³;

V – объем очищаемого модельного раствора, л;

m – масса реагентного материала, г;

$M_{\text{экв}}$ – отношение молекулярной массы химического загрязнителя к его валентности.

Исследуемая в статических условиях общая удельная эквивалентная масса осаждаемых веществ $SE_{\text{факт общ}}$ определялась как сумма $SE_{\text{факт}}$, рассчитанных для каждого компонента модельного раствора шахтных вод.

В экспериментах по определению удельной эквивалентной массы осаждаемых карбонатным реагентом химических веществ в статических условиях применялись навески материала массой 1 г, 2 г, 4 г, 8 г и 16 г, отобранные из тары производителя. Испытания материала проводились в нормальных условиях, pH модельного раствора 3,0, объем очищаемого раствора 1 л. Измерения выполнялись после контакта модельного раствора и реагента в лабораторных химических стаканах в течение 30 мин при периодическом помешивании и последующего отстаивания 60 мин, в течение которого происходило химическое осаждение ионных загрязнителей. В качестве растворителя применялась дистиллированная вода. Реактивы для изготовления многокомпонентного раствора состояли, преимущественно, из солей с сульфатными и хлоридными остатками, позволяющими задать катионные и анионные показатели. Перечень и исходные концентрации загрязняющих веществ приведены в таблице.

Таблица

Концентрации химических загрязнителей в растворе при pH = 3

Наименование компонента	Исходная концентрация в растворе, мг/дм ³	ПДК в питьевой воде, мг/дм ³
Алюминий	16,14	0,20
Аммиак и ионы аммония	16,07	2,00
Железо	29,71	0,30
Кремний	49,50	20,00
Марганец	13,28	0,10
Медь	2,35	1,00
Нитриты	8,06	3,00
Хром	0,05	0,05
Сульфаты	883,50	500,00
Кальций + магний*	14,01	7,00
Хлориды	436,50	350,00
Калий**	113,78	-
Натрий	224,60	200,00

* Концентрация – в мг-экв/дм³.

** Содержание калия в питьевой воде действующими СанПиН 1.2.3685-21 [9] не нормируется.

Зависимости удельной эквивалентной массы осаждаемых химических элементов и соединений от добавки в воду карбонатных осадителей приведены на рисунках 1-13.

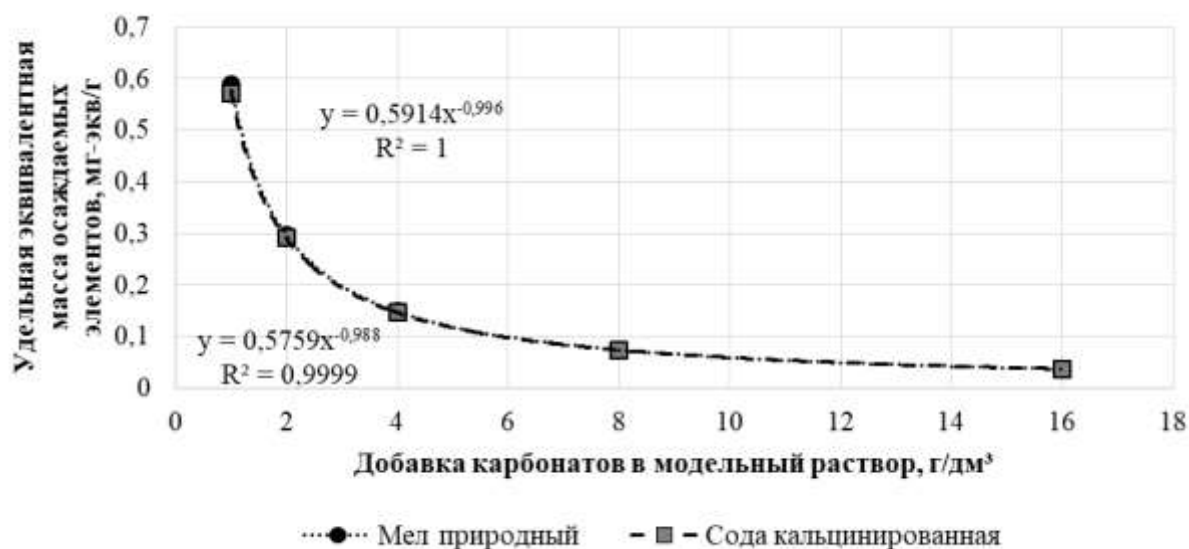


Рис. 1. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого алюминия от добавки в воду карбонатных реагентов

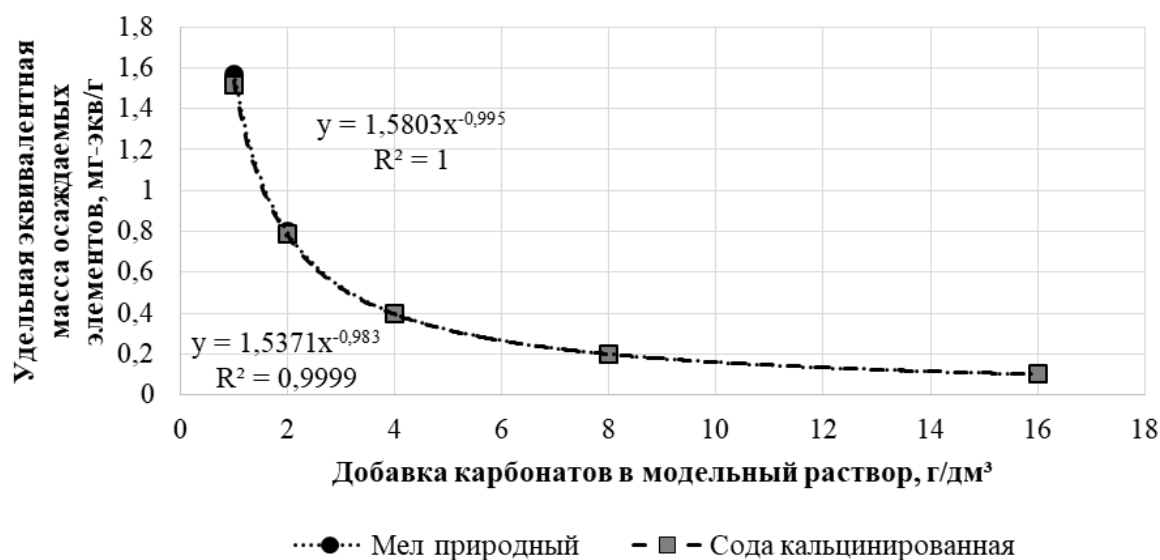


Рис. 2. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого железа от добавки в воду карбонатных реагентов

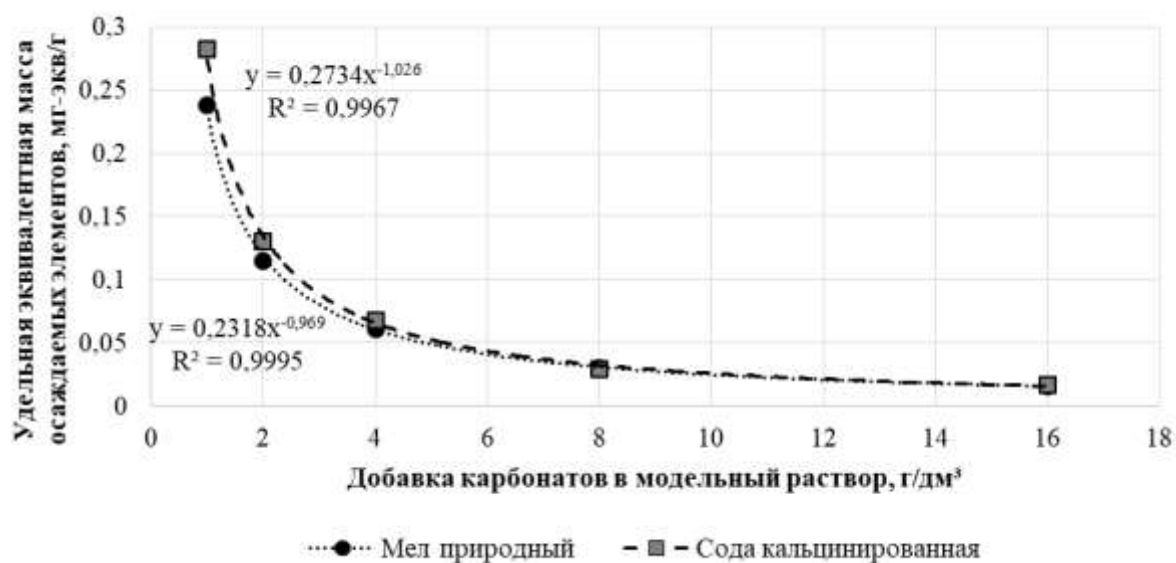


Рис. 3. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого кремния от добавки в воду карбонатных реагентов

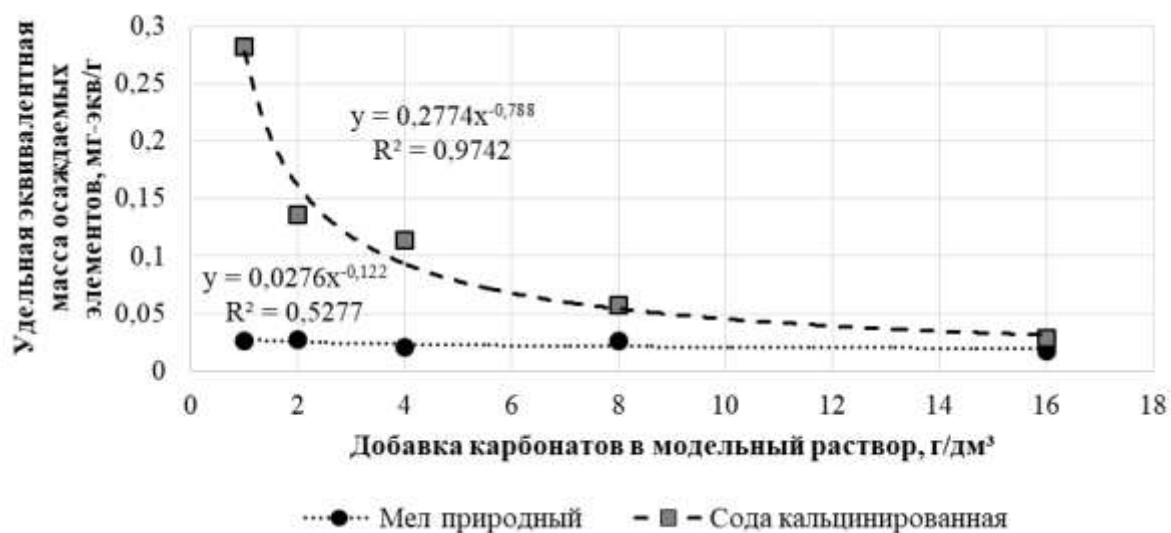


Рис. 4. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого марганца от добавки в воду карбонатных реагентов

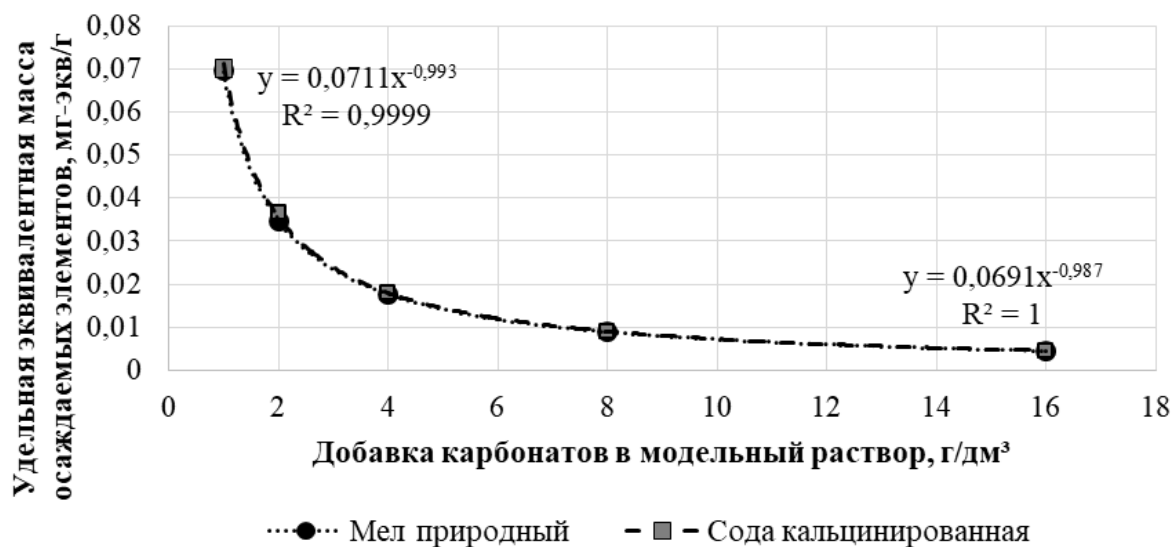


Рис. 5. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемой меди от добавки в воду карбонатных реагентов

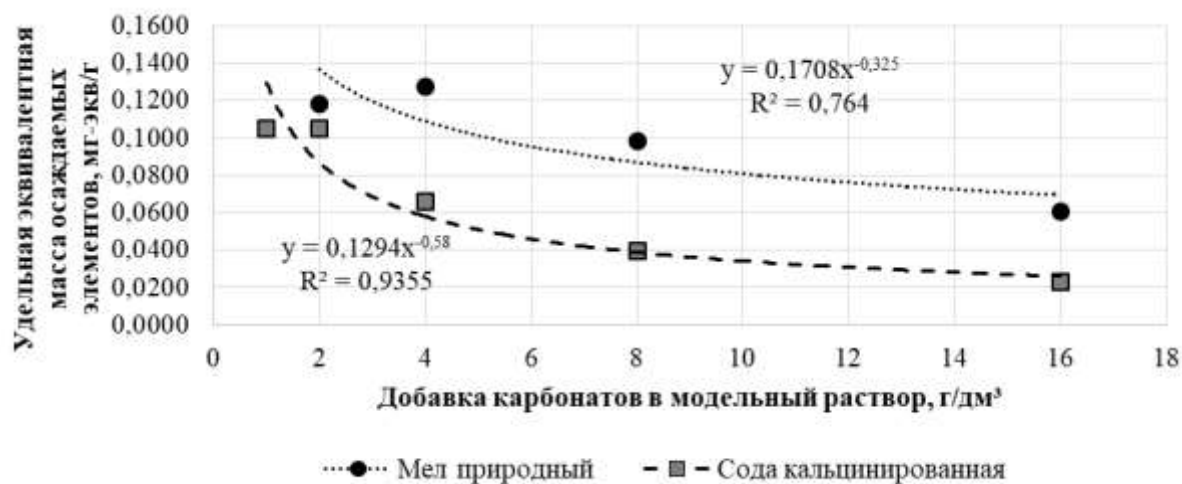


Рис. 6. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого калия от добавки в воду карбонатных реагентов

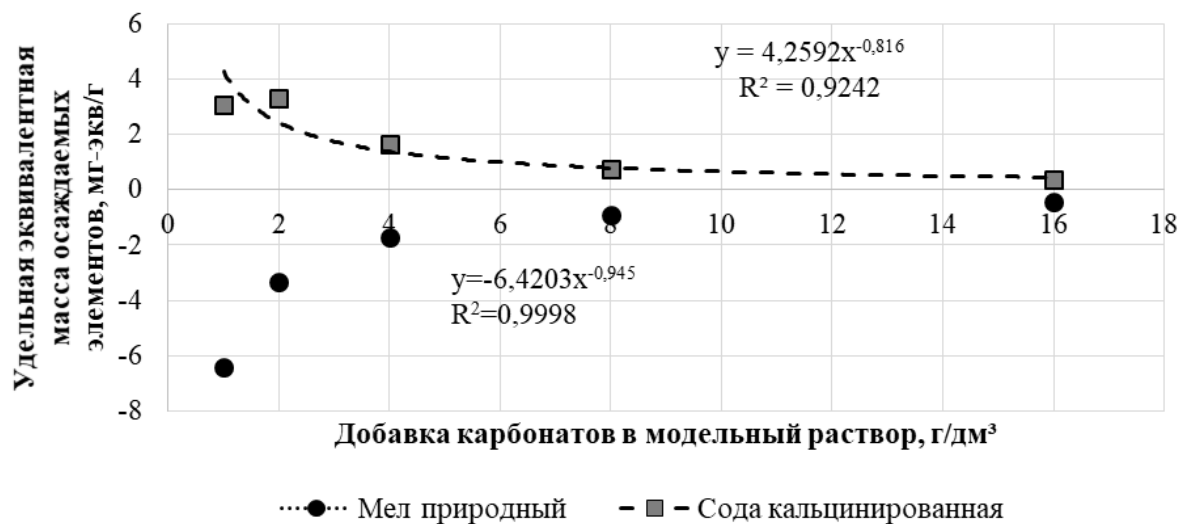


Рис. 7. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемых кальция + магния от добавки в воду карбонатных реагентов

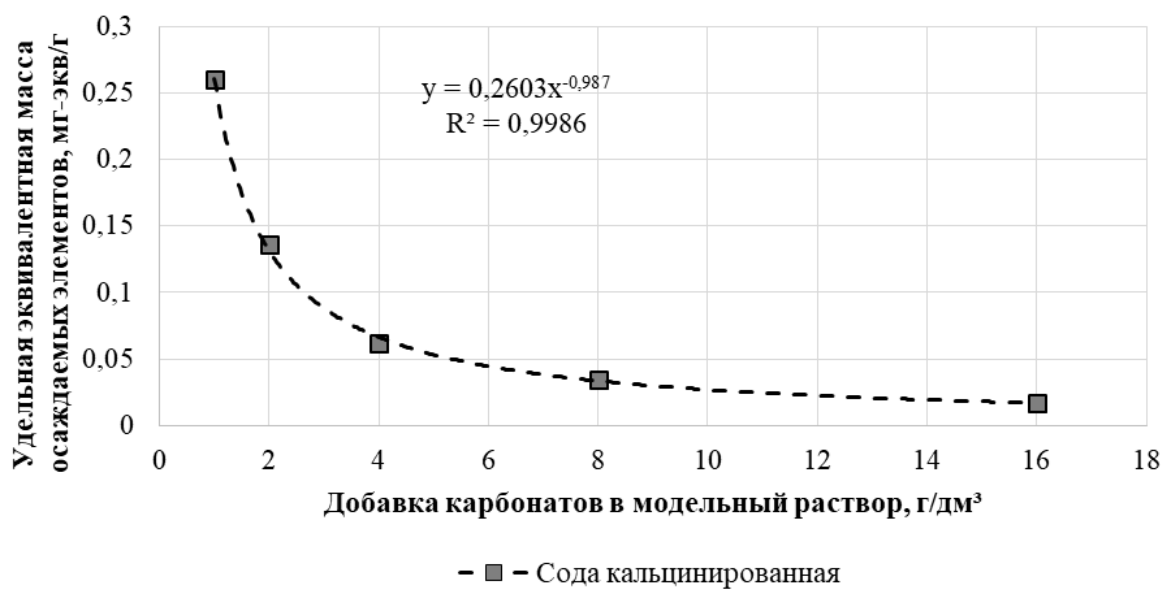


Рис. 8. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемых аммиака и ионов аммония от добавки в воду карбонатных реагентов

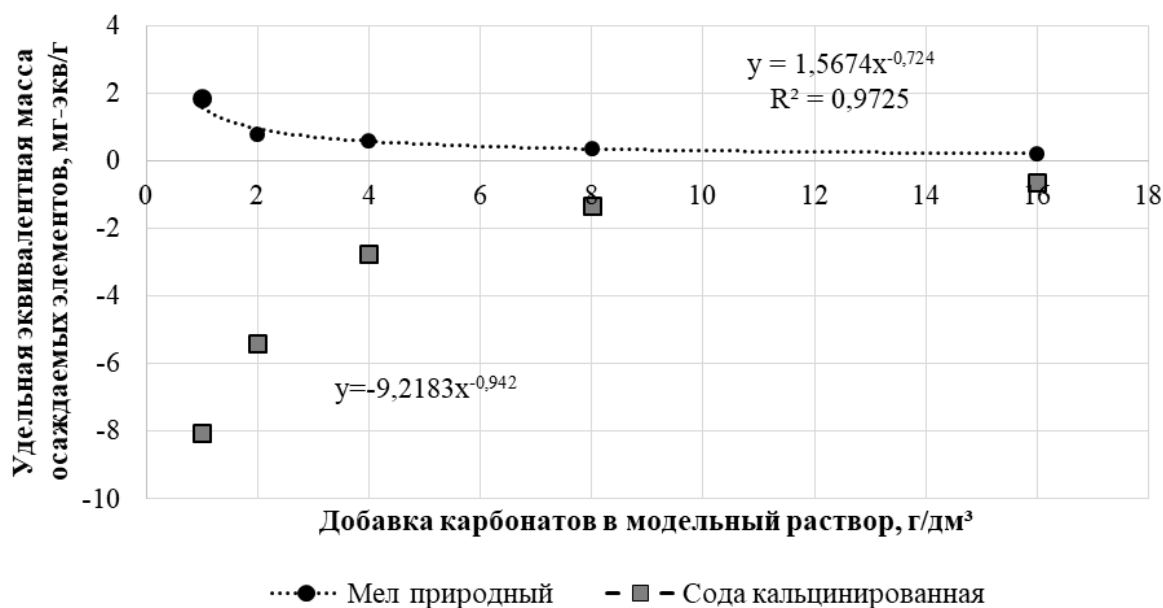


Рис. 9. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого натрия от добавки в воду карбонатных реагентов

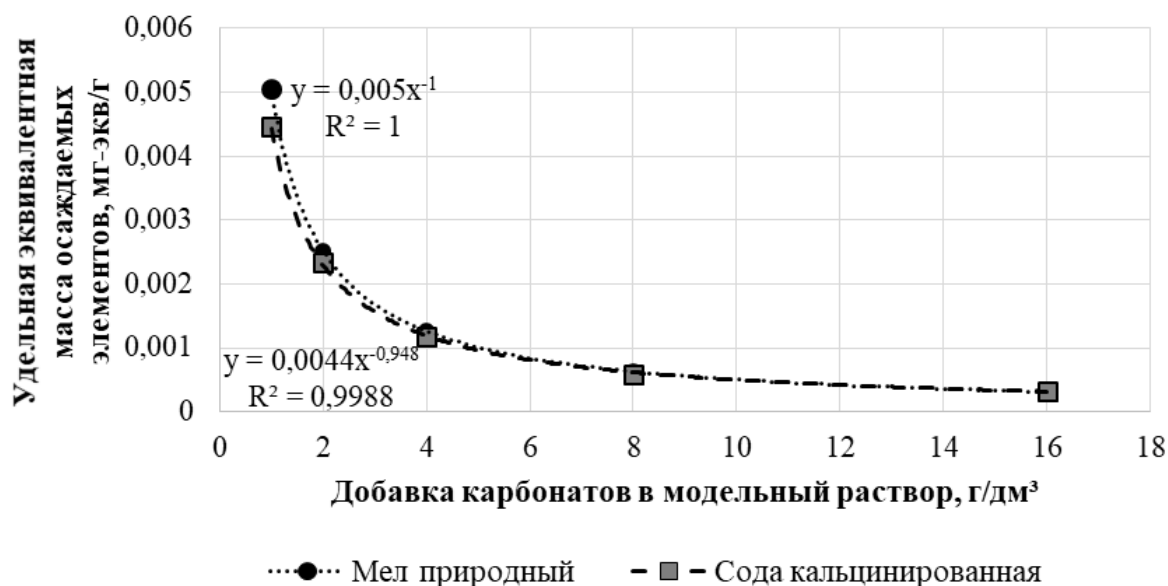


Рис. 10. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемого хрома от добавки в воду карбонатных реагентов

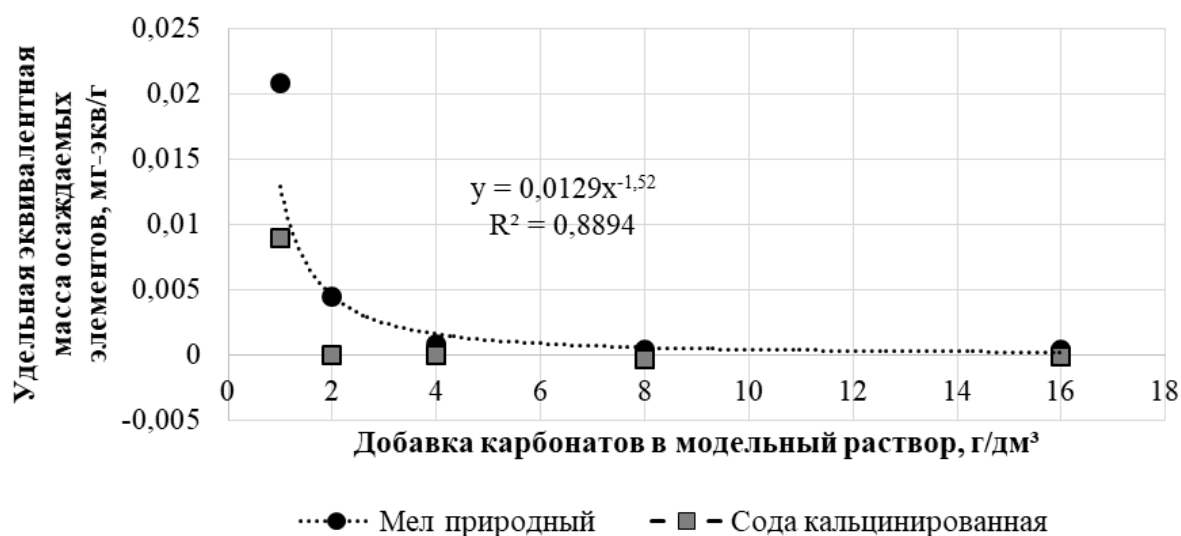


Рис. 11. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемых нитритов от добавки в воду карбонатных реагентов

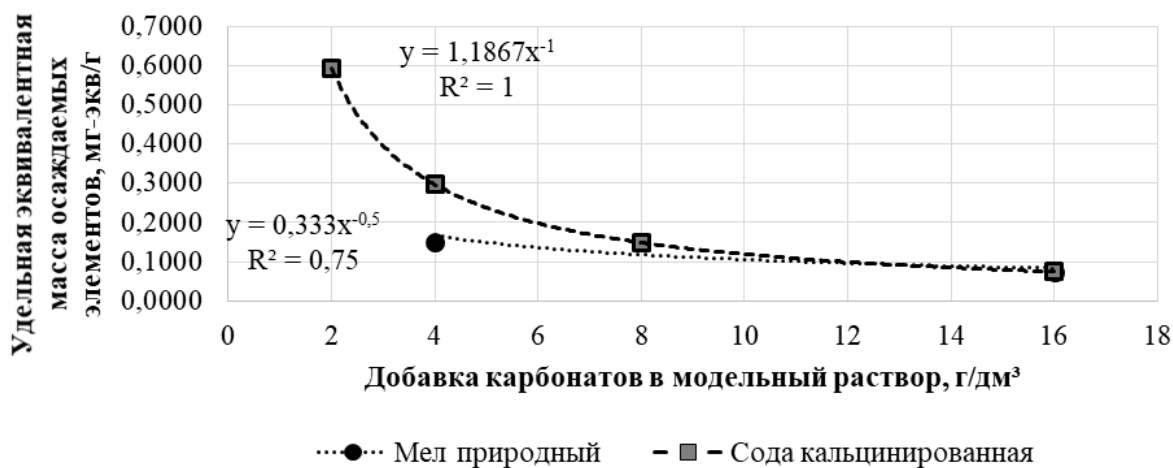


Рис. 12. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемых сульфатов от добавки в воду карбонатных реагентов

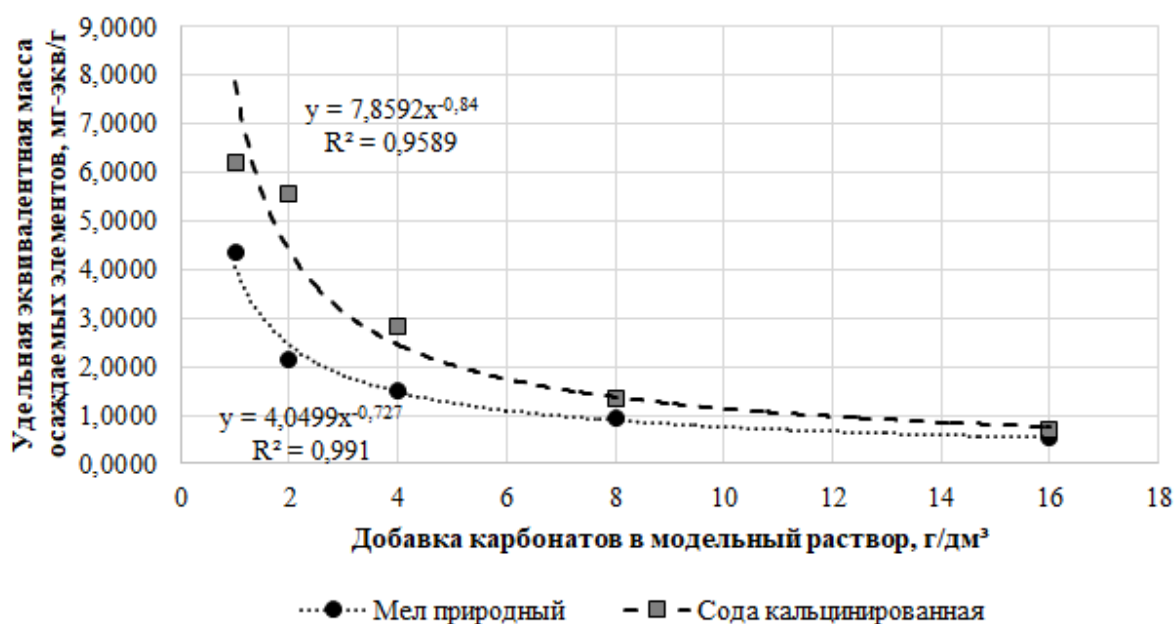


Рис. 13. Зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемых химических загрязнителей от добавки в воду карбонатных реагентов:
1) для мела – без учета жесткости из-за ее увеличения вследствие добавки карбонатов кальция; 2) для соды – без учета натрия из-за увеличения его концентрации вследствие добавки карбонатов натрия

Изменение pH модельного раствора при добавке в воду карбонатов показано на рисунке 14.

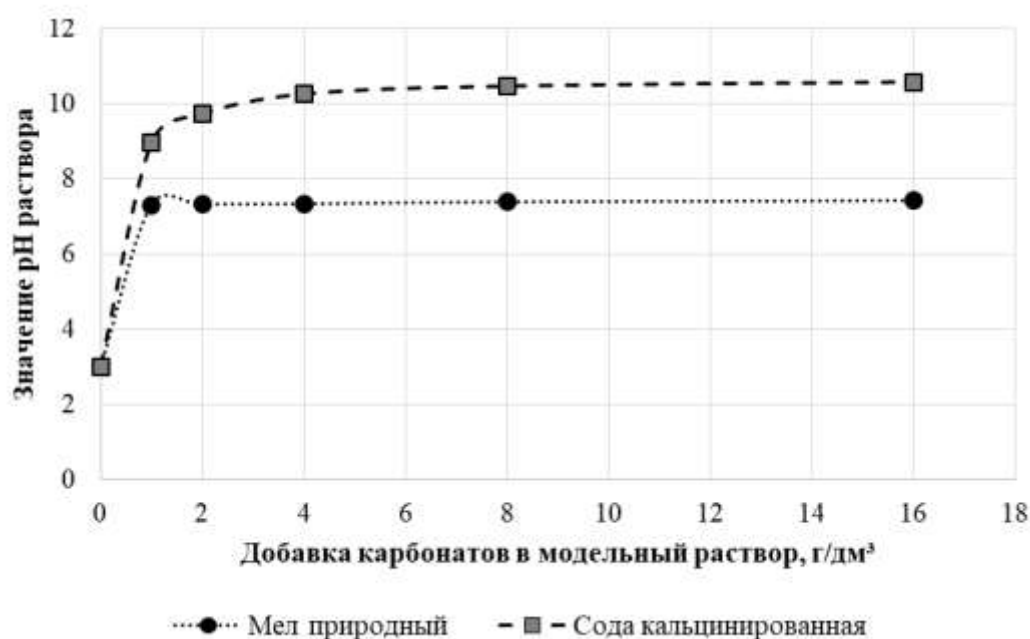


Рис. 14. Зависимость pH от добавки в воду карбонатных реагентов

В ходе проведения исследований удельной эквивалентной массы осаждаемых химических загрязнителей при добавке в воду мела природного и соды кальцинированной установлено следующее:

- логарифмическая зависимость удельной эквивалентной массы осаждаемых ионов от добавки карбонатных реагентов, при коэффициенте аппроксимации 0,53-1,00, определена для соответствующих химических элементов по рисункам 1-13;

- мел и сода очищают воду от алюминия, железа, меди и хрома с эффективностью от 83,5 % до 100,0 %; мел – от калия, натрия, марганца от 8,1 % до 59,2 %; сода – от кальция + магния, марганца, аммиака и ионов аммония от 22,0 % до 94,1 %;

- мел повышает в воде содержание кальция + магния, сода – натрия;

- отсутствие сродства мела выявлено для хлоридов, аммиака и ионов аммония, соды – хлоридов;

- низкая степень сродства мела выявлена для нитритов и сульфатов с эффективностью очистки не более 11,9 %, соды – для калия, нитритов и сульфатов не более 12,6 %;

- общая удельная эквивалентная масса осаждаемых ионов при добавке в воду карбонатов массой от 1 г до 16 г в статических условиях: для мела, кроме кальция + магния, составила от 4,3486 до 0,5305 мг-экв/г; для соды, кроме натрия, – от 6,1845 до 0,6868 мг-экв/г.

Результаты проведенных исследований показали, что мел природный и сода кальцинированная для ряда ионных загрязнителей пригодны к применению на определенных этапах технологической схемы очистки шахтных вод Донбасса. Так, для использования в схеме очистки карбоната кальция предварительно необходимо определить концентрацию в очищаемой воде кальция + магния, для карбоната натрия – соответственно ионов натрия и осуществить корректировку их содержания до технологически приемлемых значений.

ВЫВОДЫ

Определена удельная эквивалентная масса осаждаемых химических элементов и соединений при добавлении в воду мела природного или соды кальцинированной технической. Для исследуемых веществ установлены логарифмические зависимости удельной эквивалентной массы осаждаемых ионных примесей при добавке в воду карбоната кальция или натрия при коэффициенте аппроксимации 0,53-1,00.

При средней эффективности очистки воды (без хлоридов) по катионам – от 3,6 % до 100,0 % и по анионам – от 1,7 % до 11,9 %, общая удельная эквивалентная масса осаждаемых ионов составила: для мела, кроме

кальция + магния, – от 4,3486 до 0,5305 мг-экв/г; для соды, кроме натрия, – от 6,1845 до 0,6868 мг-экв/г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протазанов А.А. Методы нейтрализации в обезвреживании жидких промышленных отходов. Метод. указания / А.А. Протазанов, И.Г. Первова. – Екатеринбург: УГЛТУ. – 2023. – 38 с.
2. Платонов И.А. Методы анализа и очистки сточных вод. Метод. указания / И.А. Платонов. – Самара: СГАУ. – 2014. – 32 с.
3. Гайнуллина Г.Р. Очистка сточных вод от кислот и щелочи / Г.Р. Гайнуллина, Г.Ю. Федоров // Вестник магистратуры. – 2014. – № 12 (39). – Т. I. – С. 53-55.
4. Габович Р.Д. Нейтрализация и обезвреживание кислых фторсодержащих вод путем обработки мелом / Р.Д. Габович, Р.А. Шрабштейн // Гигиена и санитария. – 1960. – № 4. – С. 88-91.
5. Васильев И.Д. Результаты исследований по извлечению ионов никеля, кобальта и олова из водных растворов реагентным методом / И.Д. Васильев // Современные энергоресурсосберегающие и экологобезопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности: сб. науч. тр. / ВГТУ. – 1998. – С. 193-198.
6. Физико-химические характеристики мела природного технического дисперсного МТД-2 по ТУ 5743-008-05120542-96 / Белгородская обл. Петропавловка: АО «Мелстром». – 2024. – 2 с.
7. Паспорт качества № 101 на соду кальцинированную техническую ГОСТ 5100-85 / Дата выпуска 02.02.2024. Партия № 55 // Красноперекоск: АО «СЗ». – 2024. – 1 с.
8. Исследование обменной емкости цеолита при моделировании сорбционных и ионообменных процессов в статических условиях для очистки шахтных вод Донецкого региона / С.А. Гречка, А.В. Володин, Н.А. Мартынова, Я.Ю. Антонишин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МАКНИИ. – 2024. – Вып. 4 (67). – С. 186-193.
9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / Утв. Глав. гос. сан. врач РФ, пост. № 2 от 28.01.2021, с изм. на 30.12.2022 // <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 06.06.2025).

Получено: 07.07.2025.

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Маркин В.А.

UDC 628.31

A.V. VOLODIN, *head of laboratory,*
S.A. GRECHKA, *junior research worker,*
V.A. IVANCHENKO, *junior research worker,*
T.A. PRIDUBKOVA, *junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka*

**TREATMENT OF A SIMULATED COMBINATION SOLUTION
OF MINE WATERS WITH CARBONATE CONTAINING REAGENTS
IN STATIC CONDITIONS**

The specific equivalent mass has been determined of chemical elements and compounds settleable from water with anorganic carbonate salts of alkaline earth and alkaline metals. During the treatment of a combination solution simulating mine waters of Donbas the dependences have been determined between the specific equivalent mass of settleable chemical elements and their compounds and carbonates added; the efficiency of water treatment is estimated.

Keywords: natural chalk, commercial ash of soda, specific equivalent mass of settleable solids, chemical sedimentation, mine water, treatment.

УДК 621.3.064.1

О.К. МАРЕНИЧ, канд. техн. наук, ведущий инж.,
А.А. ТАРАНЕНКО, начальник отд.; ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»,
г. Донецк

УПРАВЛЯЕМАЯ КОММУТАЦИЯ КАК СПОСОБ УСКОРЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ МЕЖДУФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИЛОВОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ ШАХТНОЙ УЧАСТКОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Обоснована возможность увеличения быстродействия защитного отключения сети при возникновении междуфазного короткого замыкания, позволяющего исключить возникновение аварий.

Ключевые слова: электроснабжение, шахта, автоматический выключатель, короткое замыкание, отключение, защита.

Тенденция к повышению мощности электроустановок угольных шахт обуславливает применение сетей более высокого уровня номинального линейного напряжения – 1140 В, однако это приводит к увеличению мощности междуфазного короткого замыкания (к. з). Наряду с этим имеет место увеличение протяженности очистных выработок и, соответственно, протяженности кабельных линий. Электрические кабели являются самыми механически незащищенными элементами структуры электротехнического комплекса шахты. Между тем, они эксплуатируются в экстремальных условиях, характеризующихся стесненностью рабочего пространства, высокой вероятностью механического повреждения, повышенной влажностью и электропроводящей средой, обуславливающие повреждение и, как следствие, возникновение междуфазного к. з.

Междуфазное к. з. является наиболее опасным видом аварийного состояния промышленной электрической сети, так как ток к. з., возникая в цепи с малыми величинами сопротивлений питающего трансформатора и кабеля, достигает тысяч ампер. Статистика аварий в шахтах свидетельствует о том, что причиной воспламенения более 40% гибких кабелей являются междуфазные к. з. их силовых жил. В связи с этим актуальным является применение эффективных технических средств защиты.

Цель статьи – информирование специалистов, занимающихся вопросами безопасности электроустановок шахт, об использовании управляемой коммутации для отключения междуфазного короткого замыкания автоматическим выключателем участковой трансформаторной подстанции.

В участковой электрической сети шахты повсеместно применяются трехфазные асинхронные электродвигатели, исключающие возможность использования быстродействующих средств защиты от к. з. – плавких предохранителей, и обуславливает применение 3-полюсных автоматических выключателей (АВ). Однако практика эксплуатации свидетельствует о недостаточности их защитной функции, поскольку за время срабатывания такой защиты от 80 до 100 мс воспламенение в точке к. з. может привести к возникновению пожара. Ситуация усугубляется ростом мощности применяемого электромеханического оборудования, поскольку это сопровождается увеличением мощности трансформатора участковой подстанции, переводом электросети на более высокое номинальное напряжение.

Наиболее явно выражено воздействие поражающих факторов в отношении АВ серии А37ХХ (типа А3792У) трансформаторной подстанции при отключении токов междуфазного к. з. на ее выходе. При эксплуатации выявлен недостаток этого АВ в части сохранения работоспособности после отключения к. з. – повторяющиеся междуфазные к. з. внутри самого АВ в момент его повторного включения после защитного отключения к. з. во внешнем присоединении.

Исследованиями установлено, что причиной междуфазного к. з. в АВ при его повторном включении является плазмообразование, возникающее в процессе отключения тока к. з. и характеризующееся, в связи с этим, высокими мощностными показателями формирования электрической дуги в местах вхождения подвижных контактов АВ в полость дугогасительных камер [1, 2].

Зависимость расширения радиуса плазмы $r_{пл}$ дуги в придиафрагменной области перемещения контактов АВ от диаметра d диафрагмы определяется выражением [2]:

$$r_{пл} = \left(\frac{16}{d} \right) - 2 + 0.625 \cdot d.$$

Приведенное позволяют сделать следующие выводы:

- собственное время срабатывания АВ А3792У, составляющее от 80 до 100 мс, создает условия для протекания процесса коммутационного плазмообразования при достижении диаметром плазмы установившегося состояния;

- собственное время срабатывания устройства максимальной токовой защиты, применяемого в составе участковой трансформаторной подстанции, до 40 мс находится в том же временном диапазоне и не исключает развитие плазмообразующих процессов при коммутации силовых электрических цепей.

Для повышения ресурса АВ, недопущения его самоповреждения при отключении тока к. з., необходимо ускорить процесс разъединения силовой цепи аварийного присоединения. Приемлемым техническим решением в области обеспечения безаварийной эксплуатации АВ типа АЗ792У в шахтной участковой сети напряжением 1140 В является применение плавкого предохранителя F^U на выходе мостового выпрямителя, объединяющего вторичные фазные обмотки трансформатора КТП в трехфазную цепь (рис.1). Такое решение обеспечивает быстрое действие до 10 мс, что на порядок выше, чем аналогичный параметр АВ. Показательным примером является факт отсутствия реакции АВ на междуфазное к. з. (рис.2, а) на его выходе с амплитудой тока 4292 А, при этом отключение предохранителем произошло за 5,9 мс (рис.2, б).

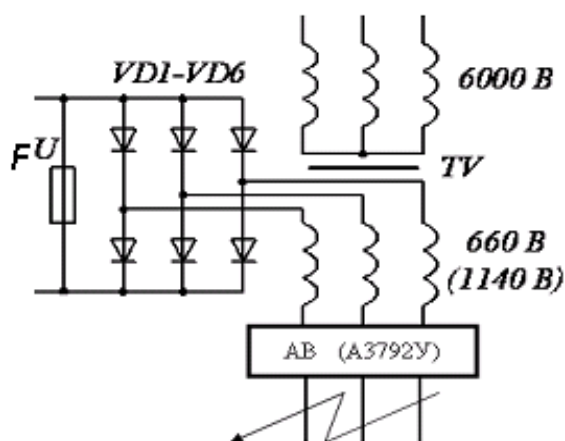


Рис. 1. Схема устройства для ускорения отключения междуфазного к. з. в присоединении КТП

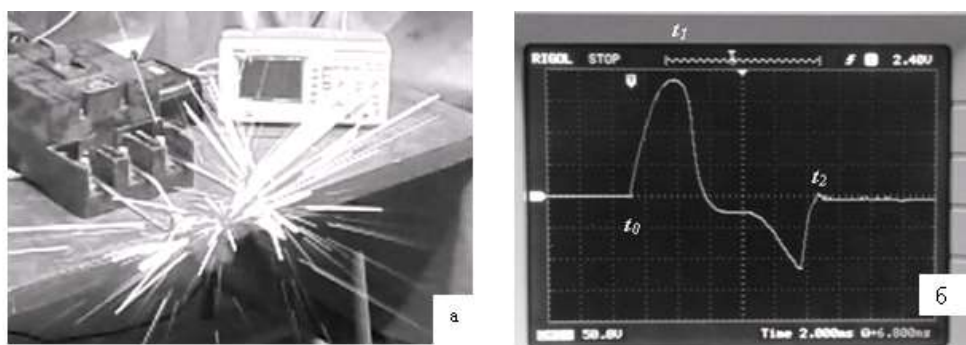


Рис. 2. Момент перегорания плавких элементов из меди сечением $0,52\text{мм}^2$ в цепи трехфазного к. з. на выходе АВ (а) и осциллограмма тока при амплитуде 4292 А и продолжительности процесса к. з. 0,0059 с (б)

ВЫВОДЫ

Управляемая коммутация ускоряет защитное отключение автоматических выключателей в промышленных электросетях, что повышает безопасность эксплуатации шахтных сетей при напряжении 1140 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маренич О.К. Элементы конструкции автоматического выключателя АЗ7ХХ как фактор возникновения его потенциально опасного состояния / О.К. Маренич, И.В. Ковалева // Вестник Донецкого национального технического университета. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 4(14). – С. 47-52. [Электронный ресурс] :<http://vestnik.donntu.org/dl/2018/04/kovalyova.pdf>
2. Маренич О.К. Управляемая коммутация трансформаторной подстанции как фактор эффективности эксплуатации электротехнического комплекса участка шахты: монография / О.К. Маренич, И.В. Ковалева. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 120 с.

Получено: 01.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Лавшонок А.В.

UDC 621.3.064.1

**O.K. MARENICH, Ph. Dr. Eng., leading engineer,
A.A. TARANENKO, head of department; GBU DONGIPROSHAKHT,
Donetsk**

CONTROLLED SWITCHING AS A WAY FOR ACCELERATION OF SAFETY CUTOFF OF INTERPHASE SHORT CIRCUIT IN A POWER CONNECTION OF A MINE SECTIONAL TRANSFORMER SUBSTATION

In this research paper the possibility of acceleration of safety cutoff of a power network in case of interphase short circuit has been justified, which will enable the elimination of occurrence of accidents.

Keywords: electrical power supply, mine, automatic circuit breaker, short circuit, cutoff, protection.

УДК 621.311.26

О.К. МАРЕНИЧ, канд. техн. наук, ведущий инж.,
А.А. ТАРАНЕНКО, начальник отд.; ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»,
г. Донецк

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

На основании анализа специфики применения солнечных и ветровых электрогенерирующих установок, климатических условий Донбасса, сравнения с вырабатываемой мощностью тепловых электростанций показано, что мероприятия по декарбонизации электроэнергетической отрасли Донецкой Народной Республики в настоящее время не перспективны.

Ключевые слова: *Донбасс, энергетика, электроснабжение, солнечный модуль, ветрогенерация, факторы, климатические условия.*

Промышленность Донбасса представляется в основном такими энергоемкими отраслями как: угольная, металлургическая, химическая, машиностроительная, что, в свою очередь, предопределяет необходимость наличия на территории региона объектов электроснабжения и электрогенерации высокой мощности, удовлетворяющей потребностям этих отраслей.

Современный уровень развития электроэнергетики предполагает применение технических средств электрогенерации, действующих на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – ветрогенераторов и солнечных батарей [1, 2], использование которых исключает загрязнение атмосферы продуктами горения угля, мазута или газа. Для такого промышленного региона, каким является Донбасс, актуальна оценка целесообразности замены тепловых электростанций, работающих на угольном топливе, силовыми электроэнергетическими установками с ВИЭ.

В то же время, необходимо учитывать проблемные вопросы и связанные с ними экономические издержки, а также влияние внешних факторов, обусловленных нестабильностью климатических условий эксплуатации в зависимости от местоположения установки с ВИЭ.

Целью статьи является анализ целесообразности использования возобновляемых источников энергии в Донбассе.

Для проведения анализа введем допущение о прекращении эксплуатации тепловых электростанций – Старобешевской и Зуевской [3, 4], рабо-

тающих на местном угле. Для полной компенсации их мощностей, 1420 МВт и 1270 МВт, соответственно, рассчитаем необходимое количество солнечных батарей или ветровых генераторов.

Сооружение солнечных электростанций (СЭС) на основе использования солнечных модулей обуславливает необходимость отчуждения значительной площади территории. Так, в расчеты следует принять, что в эксплуатации будет находиться самый распространенный солнечный модуль мощностью $P_{см} = 350$ Вт, состоящий из 72 элементов и имеющий размеры $1960 \cdot 990$ мм [1]. Угол α наклона модуля к поверхности земли варьируется в пределах [5]:

$$\alpha = \alpha_{III} \pm 15^\circ, \quad (1)$$

где α_{III} – координата географического расположения региона; Донецк – 48° северной широты, знак «+» – зимний период; знак «-» – летний период.

Исходя из (1), площадь для установки одного солнечного модуля должна рассчитываться применительно к его летнему положению, т.е. протяженность l_1 площадки вычисляется из соотношения $l_1 = h_1 \cos \alpha$, где h_1 – высота солнечного модуля, 1960 мм.

Тогда для широты Донецка:

$$l_1 = 1960 \cdot \cos 33^\circ = 1960 \cdot 0,8387 = 1644 \text{ мм},$$

а минимальная площадь для установки солнечного модуля:

$$1644 \cdot 990 = 1,63 \text{ м}^2.$$

Для компенсации суммарной мощности двух тепловых электростанций солнечными модулями количество последних должно составлять:

$$n_{\min} = P_{\text{факт}} / P_{см} = (1420 + 1270) \cdot 10^6 / 350 = 7,686 \cdot 10^6 \text{ шт.} \quad (2)$$

Установка такого количества модулей потребует отчуждение площади в размере:

$$1,63 \cdot 7,686 \cdot 10^6 = 12,528 \cdot 10^6 \text{ м}^2 = 12,528 \text{ км}^2.$$

Следует отметить, что это минимальная площадь для размещения солнечных модулей, поскольку, в данном случае необходимо учитывать старение солнечных элементов на 10% каждые 10 лет [1].

Поскольку речь идет о площади сельскохозяйственного назначения, может быть произведен расчет материальных потерь, обусловленных недополучением одного из видов сельскохозяйственной продукции в расчете на год: пшеница, кукуруза, подсолнечник и т.п. Кроме того, размещение на значительной территории солнечных модулей обусловит изменение естественного температурного режима поверхности земли, что косвенно может оказывать влияние на климат региона.

Следует также учесть, такой фактор как запыленность, характерный для степных условий Донбасса. Так исследованиями [6] установлено, что запыленность поверхности солнечных модулей снижает их электрическую мощность, в среднем, на 35%. Вместе с тем, при легкой облачности вырабатываемая электрическая мощность составляет от 60% до 80% от максимальной, а в пасмурную погоду – от 20% до 30%. Снежный покров поверхности солнечного модуля исключает его функционирование.

Из результатов наблюдений за погодными условиями в Донецке [7], следует, что за 2024 г. на этой территории было 40,27% солнечных дней, 26,3% облачных дней, и 33,42% пасмурных дней. При этом пик пасмурных дней приходился на ноябрь – март месяцы, т. е. 5 месяцев в году. Кроме того, апрель и май, отличались большим количеством облачных и пасмурных дней (табл.1).

Таблица 1

Данные о количестве солнечных (С), облачных (О) и пасмурных (П) дней в 2024 г. в Донецке

Ме сяц	С	О	П	Ме сяц	С	О	П	Ме сяц	С	О	П	Ме сяц	С	О	П
I	3	5	23	IV	11	8	11	VII	20	9	2	X	16	9	6
II	4	5	19	V	13	12	6	VIII	23	7	1	XI	11	7	12
III	7	9	15	VI	16	11	3	IX	19	7	44	XII	4	7	20

К проблемным вопросам можно отнести отчуждение территории для размещения аккумуляторов, преобразователей, трансформаторов и другого оборудования СЭС, а также для перемещения персонала и транспортных средств в процессе обслуживания технологического оборудования.

Исходя из упомянутых факторов и не учитывая материальные издержки на приобретение оборудования СЭС, демонтаж и утилизацию оборудования ТЭС, а также материальную компенсацию трудоемкости обслуживания СЭС, можно сделать вывод о нецелесообразности применения солнечных электростанций в качестве основных электрогенерирующих объектов в условиях Донбасса.

Альтернативным вариантом ВИЭ можно считать возведение и эксплуатацию ветровых электростанций (ВЭС). Мощность ветрового электрогенератора (ВЭГ) определяется:

$$P_{ВЭГ} = 0,6 (\pi r^2) v^3, \quad (3)$$

где r – расстояние от центра вала генератора до конца лопасти (м);
 v – скорость ветра (м/с).

В качестве примера рассмотрим ВЭС с ветровым электрогенератором Enercon E-126 [1], имеющим следующие параметры:

- мощность 7,58 МВт;
- ометаемая площадь 12668 м²;
- частота вращения лопастей 5 ÷ 11,7 об/мин;
- скорость ветра: минимальная – 3 м/с; номинальная – 9 м/с; критическая (штормовое ограничение) – 34 м/с;
- габариты: высота – 198 м, размах лопастей – 128 м;
- стоимостной показатель 2025 г. – 14 млн. \$.

Таким образом, компенсация суммарной мощности действующих в ДНР тепловых электростанций может быть достигнута созданием ВЭС из $n_{ВЭГ}$ ветровых электрогенераторов:

$$n_{ВЭГ} = P_{факт} / P_{ВЭГ} = (1420 + 1270) \cdot 10^6 / 7,58 \cdot 10^6 \approx 168 \text{ шт.}, \quad (4)$$

что эквивалентно затратам только по статье «ветровые электрогенераторы» – 2352 млн. \$ без учета затрат на установку. В дальнейшем эта сумма должна быть увеличена в соответствии с действующими нормативами и коэффициентами, относящимися к транспортным, монтажным, демонтажным расходам и т.п.

Из положительных аспектов следует отметить, что эксплуатация ветровых электрогенераторов не предполагает отчуждения значительных территорий. Эффективная работа ВЭС определяется наличием и устойчивостью ветра в рабочем диапазоне скоростей. Наблюдения свидетельствуют о непостоянстве направления и скорости ветра, находящихся на пределе рабочих характеристик ВЭГ (табл. 2) [8].

Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод, что в условиях климата ДНР использование ветровых электрогенераторов будет находиться на минимальном пределе их устойчивой работы. При этом в соответствии с (3) и на основании технических характеристик ВЭГ типа Enercon E-126, при скорости ветра 5,6 м/с, его мощность будет ниже номинальной в 27 раз.

Таблица 2

Данные о средней скорости ветра (м/с) в 2024 г. в Донецке

Месяц	Донецк	Месяц	Донецк
январь	4	июль	3,3
февраль	4,2	август	3,8
март	3,4	сентябрь	5,6
апрель	4,2	октябрь	3,9
май	3,5	ноябрь	4,2
июнь	3,6	декабрь	4,2

Компенсацию потери мощности можно осуществить только соответствующим увеличением ветровых электрогенерирующих установок, что потребует больших материальных затрат. В целом, высокая вероятность неустойчивости электрогенерации, обусловленная стабильно низкой скоростью ветра, является фактором, препятствующим замене традиционных тепловых электростанций ветровыми электростанциями. В этих условиях средства электрогенерации на основе ВИЭ могут рассматриваться исключительно как дополнительные, вспомогательные, резервные.

ВЫВОДЫ

Анализ показал, что альтернативная энергетика имеет как преимущества, так и недостатки. Любые ее виды зависят от определенных погодных, климатических, геологических условий, требуют строительства ресурсоемких и очень дорогих аккумуляторов электроэнергии. Суточные и сезонные колебания в производстве электроэнергии можно сбалансировать за счет комбинирования разных типов получения электроэнергии. При этом надо учитывать рациональную утилизацию отработанных элементов электростанций, работающих за счет возобновляемых источников энергии. Таким образом, в перспективе, самыми надежными и управляемыми источниками электроэнергии по-прежнему будут энергоустановки на углеводородном топливе – уголь, нефть газ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Характеристики солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/energy/1550-harakteristiki-solnechnyh-batarey.html>. – Загл с экрана.
2. Применение промышленных ветрогенераторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tcip.ru/blog/wind/primenenie-promyshlennyh->

[vetrogeneratorov.html](#). – Загл с экрана.

3. Старобешевская тепловая электростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/СТАРОБЕШЕВСКАЯ_ТЭС .- Загл с экрана.

4. Зуевская тепловая электростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/ЗУЕВСКАЯ_ТЭС .- Загл с экрана.

5. Зимние проблемы солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://altenergiya.ru/sun/zimnie-problemy-solnechnyx-batarej.html>. – Загл с экрана.

6. Влияние препятствий солнечным лучам на выработку энергии солнечными панелями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techorient.htm> . – Загл с экрана.

7. Сколько солнечных дней в Донецке (2024 г.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://anyroad.ru/city/weather/sunnydays/донецк,донецкая-область> – Загл с экрана.

8. Средняя скорость ветра в Донецке по месяцам в 2024 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://world-weather.ru/pogoda/russia/donetsk/2024/> – Загл с экрана.

Получено: 01.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Лавшонок А.В.

UDC 621.311.26

**O.K. MARENICH, Ph. Dr. Eng., leading engineer,
A.A. TARANENKO, head of department; GBU DONGIPROSHAKHT,
Donetsk**

ANALYSIS OF APPLICABILITY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES UNDER CLIMATIC CONDITIONS OF DONBAS

Based on the analysis of specific character of application of solar and wind power generating units, climatic conditions of Donbas, comparison with fulfil capacity of thermal power plants it is shown that the decarbonization activities in electric power industry of the Donetsk People's Republic are currently prospectless.

Keywords: Donbas, electric-power industry, electric power supply, solar module, wind power generation, factors, climatic conditions.

II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622.412:622.817

В.Н. МЕДВЕДЕВ, д-р техн. наук, зав. отд.,
Е.В. БЕЛЯЕВА, ведущий науч. сотр.,
А.Л. СКЛЯРОВ, ст. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ MS EXCEL

Раскрыты проблемные вопросы, связанные с получением сведений для оперативного информирования горнорабочих угольных шахт об опасном метановыделении в рудничную атмосферу. Для этого предложено использовать компьютерное прогнозирование на основе программы MS Excel.

Ключевые слова: угольная шахта, метановыделение, рудничная атмосфера, прогнозирование, программа MS Excel, безопасность.

Добыча угля подземным способом сопровождается метановой опасностью, исключить которую проветриванием и дегазацией пластов, в полной мере, не представляется возможным [1]. Поэтому необходимо своевременно информировать горнорабочих о метановой опасности и обеспечить защитное отключение электроэнергии при превышении предельно допустимых норм содержания метана в рудничной атмосфере, которые нельзя реализовать без эффективной метанометрической техники [2]. Анализ литературных источников, патентных материалов и электронных ресурсов показывает, что инерционные свойства датчиков метана и различного рода помехи электрического и газового происхождения существенным образом снижают оперативность функционирования указанной техники [3]. Это приводит к искажению и задержкам в поступлении необходимой информации, поэтому решение данной проблемы, как показали проведенные исследования, актуально и возможно на основе прогнозирования газовой обстановки в горных выработках путем применения компьютеров, оснащенных специальными программами.

Цель работы – раскрыть потенциальные возможности компьютерного прогнозирования концентрации метана в рудничной атмосфере на основе программы MS Excel.

Программа MS Excel является одним из самых широко используе-

мых инструментов для компьютерного программирования в различных областях науки и техники. Она помогает анализировать данные, выявлять тренды и делает прогнозирование достаточно эффективным и точным [4].

Основным методом прогнозирования в MS Excel является экспоненциальное сглаживание [5]. Этот метод подходит для прогнозирования временных рядов, к которым можно отнести и последовательность изменения концентрации метана. Он вытекает из принципа взвешенного среднего, где более новые данные имеют больший вес, и позволяет осуществить визуализацию временных рядов и графиков математических моделей. При этом следует учесть, что получение средних значений подразумевает наличие предыстории рассматриваемого процесса или временного ряда, без которой невозможно выполнить необходимые вычисления.

Важным аспектом при создании прогнозов в MS Excel является автоматический анализ их точности, который предусматривает определение средней и предельной ошибок прогноза.

Для примера компьютерного прогнозирования концентрации метана в рудничной атмосфере при использовании программы MS Excel воспользуемся типичным процессом метановыделения (временным рядом), зарегистрированным в подготовительной выработке на расстоянии 30 м от забоя, при ведении взрывных работ в режиме сотрясательного взрывания, не сопровождавшегося появлением выброса угля и газа, который приведен на рис. 1. Для упрощения рассмотрения материала из графика рис. 1 искусственно удалены флуктуации концентрации метана [6].

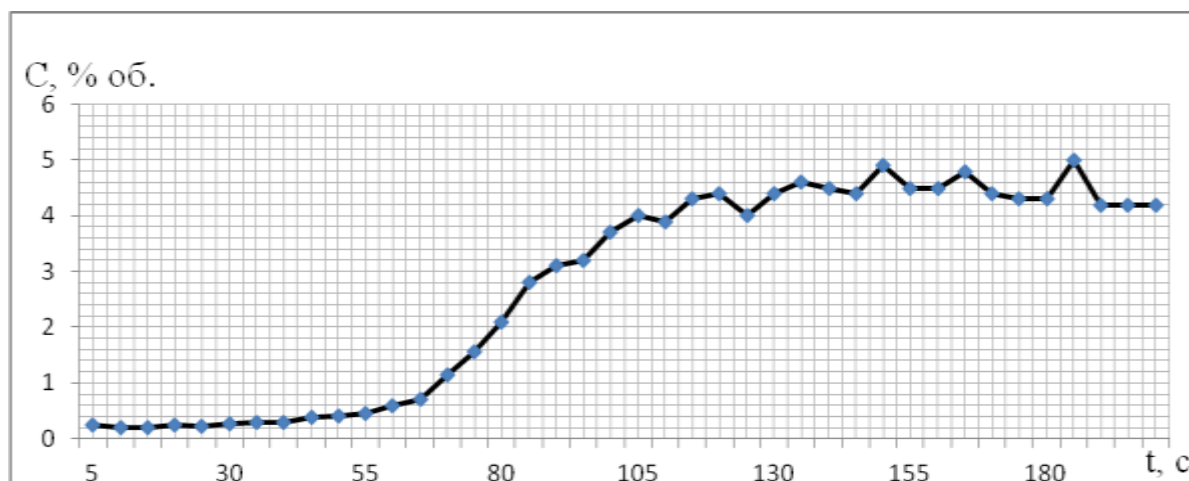


Рис.1. График тренда процесса (временного ряда) изменения концентрации метана в подготовительной выработке на расстоянии 30 м от забоя

Проведя аналитическое выравнивание временного ряда, получаем уравнение тренда с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,9612:

$$C(t) = -0,000t^3 + 0,0213t^2 - 0,1235t + 0,2432. \quad (1)$$

Графический вид результатов аппроксимации представлен на рис. 2.

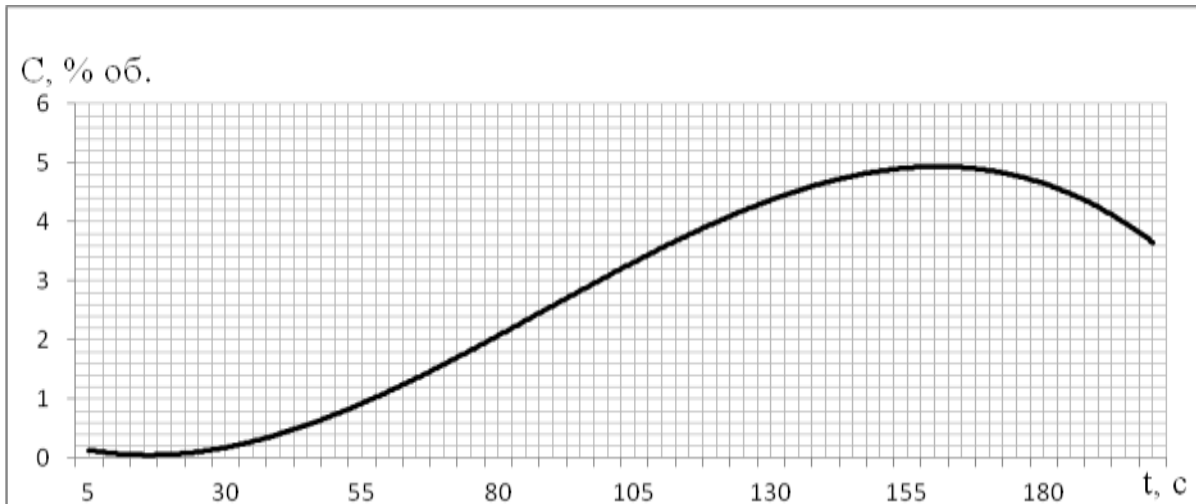


Рис. 2. График полиномиального уравнения изменения концентрации метана в подготовительной выработке на расстоянии 30 м от забоя

Если считать, что последним значением рассматриваемого временного ряда является точка с порядковым номером 40 ($t = 200$ с), то можно осуществить прогноз значений концентрации метана на основе компьютерной техники для точек 41 и 42, воспользовавшись выражением (1). Результаты проведенных операций помещены в табл. 1.

Определим среднее квадратическое отклонение $S(t)$ фактических уровней ряда от графика полиномиального уравнения тренда по формуле:

$$S(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{n_p - P_T}}, \quad (2)$$

где n_p – число уровней ряда,

P_T – параметры уровней тренда.

$$S(t) = 0,3862 \% \text{ об.}$$

Определим среднюю ошибку прогноза $\bar{e}_d$ по формуле:

$$\bar{e}_d = \frac{S(t)}{\sqrt{n_p}}. \quad (3)$$

Получаем $\bar{e}_d = 0,0611\%$ об.

Вычислим доверительную (предельную) ошибку прогноза:

$$\alpha = \bar{e}_d \cdot t_c, \quad (4)$$

где α – доверительный интервал или предельная ошибка прогноза;

t_c – коэффициент Стьюдента.

Получаем $\alpha = 0,165\%$ об.

Таблица 1

Результаты, полученные в ходе
вычислений с применением MS Excel по данным рис. 1 и рис. 2,
согласно выражению (1)

№ п/п	Время t, с	Концентрация метана, % об.		Значение $(\tilde{y}_i - y_i)^2$
		эмпирическое значение, y_i	теоретическое значение, $\tilde{y}_i$	
1	2	3	4	5
1	5	0,25	0,14	0,011968
2	10	0,20	0,08	0,014835
3	15	0,20	0,05	0,021433
4	20	0,25	0,06	0,034447
5	25	0,23	0,11	0,014835
6	30	0,27	0,18	0,007639
7	35	0,30	0,29	0,000219
8	40	0,30	0,41	0,012905
9	45	0,38	0,56	0,034373
10	50	0,40	0,74	0,114379
11	55	0,45	0,93	0,230016
12	60	0,60	1,14	0,288584
13	65	0,70	1,36	0,433754
14	70	1,15	1,59	0,194834
15	75	1,55	1,83	0,080202
16	80	2,10	2,08	0,000339
17	85	2,80	2,33	0,216970
18	90	3,10	2,59	0,261530
19	95	3,20	2,84	0,127878
20	100	3,70	3,09	0,368206
21	105	4,00	3,34	0,437450
22	110	3,90	3,58	0,104846

Окончание таблицы 1				
1	2	3	4	5
23	115	4,30	3,80	0,246413
24	120	4,40	4,02	0,145619
25	125	4,00	4,22	0,047611
26	130	4,40	4,40	0,000000
27	135	4,60	4,56	0,001354
28	140	4,50	4,70	0,041453
29	145	4,40	4,82	0,175896
30	150	4,90	4,91	0,000000
31	155	4,50	4,97	0,218650
32	160	4,50	4,99	0,245223
33	165	4,80	4,99	0,035570
34	170	4,40	4,94	0,297461
35	175	4,30	4,86	0,317194
36	180	4,30	4,74	0,193248
37	185	5,00	4,57	0,183013
38	190	4,20	4,36	0,025154
39	195	4,20	4,10	0,010733
40	200	4,20	3,78	0,173722
41	($t_{\text{прогн}}$) 205		3,42	
42	($t_{\text{прогн}}$) 210		2,99	

Определим среднюю ошибку прогноза $\bar{e}_d$ по формуле:

$$\bar{e}_d = \frac{S(t)}{\sqrt{n_p}}. \quad (3)$$

Получаем $\bar{e}_d = 0,0611\%$ об.

Вычислим доверительную (предельную) ошибку прогноза:

$$\alpha = \bar{e}_d \cdot t_c, \quad (4)$$

где α – доверительный интервал или предельная ошибка прогноза;

t_c – коэффициент Стьюдента.

Получаем $\alpha = 0,165\%$ об.

Представим результаты прогнозирования в табл. 2.

Таким образом, при условии сохранения выявленных на этапе предыстории тенденций с вероятностью 99 % через 205 с концентрация метана в подготовительной выработке на расстоянии 30 м от забоя может находиться в интервале от 3,26 % об. до 3,59 % об, а через 210 с – в интервале от 2,83 % об. до 3,16 % об.

Таблица 2

Результаты прогнозирования изменения концентрации метана
в подготовительной выработке на расстоянии 30 м от забоя

Время t, с	Точечный прогноз $\tilde{y}_i$, % об.	Доверительный интервал прогноза, % об.	
		$\tilde{y}_i - \alpha$	$\tilde{y}_i + \alpha$
205	3,42	3,255	3,585
210	2,99	2,825	3,155

Современная нормативная база не содержит сведений о величине допускаемой погрешности прогноза $\Delta_{\text{п}}$ концентрации метана. Поэтому по аналогии с допускаемой динамической погрешностью измерений $\Delta_{\text{д}}$ для автоматических метанометров подгруппы МС2, которая указана в [7], принимаем $\Delta_{\text{п}}$ на уровне удвоенного значения допускаемой основной абсолютной погрешности $\Delta_{\text{оа}} = 0,2$, т.е. $\Delta_{\text{п}} = \Delta_{\text{д}} = 2\Delta_{\text{оа}} = \pm 0,4$ % об.

Сравнивая $\Delta_{\text{п}}$ с данными, полученными в ходе проведенного прогнозирования, можно утверждать о приемлемой точности прогноза значений концентрации метана на промежутки времени, который не превышает 10 с.

Указанный промежуток выбран не случайно. Экспериментально установлено, что обученный горнорабочий с момента информирования о конкретной опасной газовой ситуации потратит не более 5 с на ответные действия, обеспечивающие личную безопасность. Учитывая побочные факторы, например, стресс и усталость, принимаем двукратное увеличение этого показателя до уровня 10 с.

ВЫВОДЫ

Представленные материалы свидетельствуют о том, что для прогнозирования значений концентрации метана в рудничной атмосфере можно использовать компьютерную технику с программой MS Excel. Однако необходимость в длительной предыстории временного ряда и существенное усложнение схемотехники метанометров за счет дорогостоящего компьютерного оборудования ограничивают область применения такого прогнозирования исключительно уровнем стационарных систем аэрологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах: в III

т. / А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, В.П. Колосюк [и др.]; под ред. А.М. Брюханова. – Донецк: Вебер, 2007. – Т. III. – 692 с.

2. Kontrola gazow w atmosferze w kopalniach węgla kamiennego Ukrainy / W.N. Medwedew, E.W. Beliaewa, A.L. Skliarow, B. Muranov // Mechanizacja i automatyzacja górnictwa : Czasopismo naukowo-techniczne Wydawca : Instytut Technik Innowacyjnych EMAG. – 2011. – № 6 (484). – Р. 3-21.

3. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский. – Москва: Недра, 1984. – 285 с.

4. Литвинчук С.Ю. Информационные технологии в экономике. Анализ и прогнозирование временных рядов с помощью Excel: учебное пособие / С.Ю. Литвинчук. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2010. – 78 с.

5. Туктамышева Л.М. Моделирование и прогнозирование на основе методов экспоненциального сглаживания / Л.М. Туктамышева, Е.Н. Седова, О. И. Бантикова. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. – 53 с.

6. Гусев М.Г. Высокочастотные составляющие процессов изменения концентрации метана и их влияние на средства газового контроля / М.Г. Гусев, В.Н. Медведев, В.А. Святный // Горный журнал. – 1983. – № 7. – С. 55-58.

7. ГОСТ 24032 - 80 (СТ СЭВ 6455:88). Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования. Методы испытаний: дата введения 1981-01-01. – Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 36 с.

Получено: 09.07.2025

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Диденко В.В.

UDC 622.412:622.817

V.N. MEDVEDEV, Dr. Eng., head of department,

E.V. BELYAEVA, leading research worker,

A.L. SKLYAROV, senior research worker; GBU MAKNIИ, Makeyevka

COMPUTERIZED FORECASTING OF METHANE CONTENT IN MINE AIR WITH THE USE OF MS EXCEL APPLET

This research paper considers issues connected with receiving information for quick informing of mine workers of coal mines about hazardous me-

thane release into mine air. For this purpose a computerized forecasting is suggested based on MS Excel applet.

Keywords: coal mine, methane release, mine air, forecasting, MS Excel applet, safety.

УДК 621.316.93:622.691

И.П. ГОРОШКО, *зав.отд.*,
В.В. ДИДЕНКО, *канд. техн. наук, зав.лаб.*,
А.Ю. ГЛАДКОВ, *канд. техн. наук, зав.лаб.*,
В.А. ГАВРИЛКО, *ст. науч. сотр.*,
Р.А. ПАРХОМЕНКО, *зав. лаб.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка;*
Д.А. ЛИСИЦЫН, *гл. конструктор проекта; ГБУ «Автоматгормаш»,*
г. Донецк

К ВОПРОСУ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ТОКА НА ЗЕМЛЮ В УЧАСТКОВЫХ СЕТЯХ 3,3 КВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Проанализированы факторы, определяющие возникновение аварийного состояния изоляции кабелей и электрооборудования в системе участкового электроснабжения напряжением 3,3 кВ.

Ключевые слова: **участковые сети 3,3 кВ, шахта, ток утечки, быстродействующая защита.**

Условия электробезопасности сетей зависят, в основном, от величины тока, протекающего через тело человека, напряжения прикосновения и времени их воздействия. Длительность воздействия тока на человека в шахтных сетях состоит из суммарного времени срабатывания устройства защиты от утечек тока и отключения сети коммутационным аппаратом.

В связи с применением в участковых сетях угольных шахт напряжения 3,3 кВ повышение быстродействия срабатывания устройств защиты от утечек тока приобретает особую актуальность, т.к. позволяет сократить время протекания тока через тело человека при его прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Применяемые в настоящее время в сетях 3,3 кВ устройства защиты не обеспечивают электробезопасность их эксплуатации, т.к. не защищают человека от поражения электротоком.

По данным [1, 2] обеспечить защиту человека возможно при условии сокращения времени протекания тока через тело человека, однако применяемые устройства защиты и коммутационные аппараты имеют низкое быстродействие.

Повышение быстродействия срабатывания устройств защиты от утечек тока на землю можно достичь путем сокращения времени обнаружения

аварийного состояния в системе электроснабжения.

Цель статьи – анализ факторов, обеспечивающих обнаружение токов утечки на землю в участковых сетях напряжением 3,3 кВ угольных шахт.

В мощной электрической системе треугольник линейных напряжений образует жесткую систему: его положение относительно точки отсчета (например, земли) определяется проводимостью каждой фазы на землю. Не всегда симметричному треугольнику линейных напряжений соответствует симметричная звезда фазных напряжений. Векторная диаграмма напряжений в сети с изолированной нейтралью при замыкании на землю представлена на рис. 1.

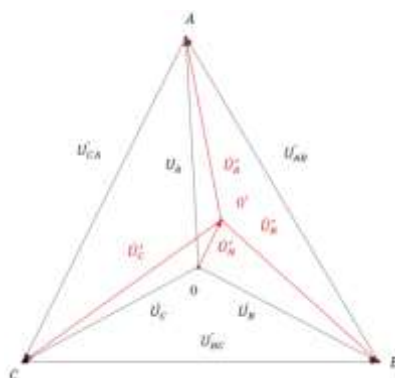


Рис.1. Векторная диаграмма напряжений в сети с изолированной нейтралью при замыкании на землю

При замыкании на землю одной из фаз, например, фазы **A** через сопротивление, точка O из центра треугольника линейных напряжений смещается в точку O' . В результате появляется напряжение между нулевой точкой сети и землей. Напряжение поврежденной фазы относительно земли состоит из двух частей: напряжения по отношению к нейтрали и напряжения нейтрали по отношению к земле, т.е. напряжения нулевой последовательности (ННП) [1,3].

При возникновении утечки в системе участкового электроснабжения мгновенно происходит повышение ННП больше напряжения несимметрии.

При замыкании на землю одной из фаз (например, фазы **A**) через сопротивление в сети с изолированной нейтралью общее выражение для ННП будет:

$$U_0(t) = \frac{U_{Am}}{\sqrt{1+9R_0^2\omega^2C^2}} [\sin(\omega t + \psi - \varphi) - \sin(\psi_1 - \varphi)e^{p_1 t}], \quad (1)$$

где $\psi_1 = \omega t_0$ – начальная фаза замыкания,

$\varphi = \arctg 3\omega CR_q$ – угол сдвига фаз между напряжениями U_0 и U ,

U – фазное напряжение, В,

$p_1 = -\frac{1}{3CR_q}$ – корень характеристического уравнения.

Модуль и аргумент ННП в установившемся режиме будут изменяться согласно выражению:

$$\dot{U}_0 = U_{0m} e^{i\varphi} = \frac{U_{Am}}{\sqrt{1 + 9R_q^2 \omega^2 C^2}} e^{i\varphi} \quad (2)$$

где U_{0m} – модуль ННП,

U_{Am} – амплитудное значения напряжения фазы A .

На рис. 2 показана векторная диаграмма изменения напряжения $\dot{U}_0$ при замыканиях на землю фазы A через разные сопротивления. Из диаграммы видно, что вектор $\dot{U}_0$ изменяется по полуокружности. При металлических замыканиях на землю $\dot{U}_0$ полностью соответствует поврежденной фазе и угол $\varphi = 0$, а с увеличением сопротивления утечки отстает от поврежденной фазы на угол $\varphi \leq 90^\circ$.

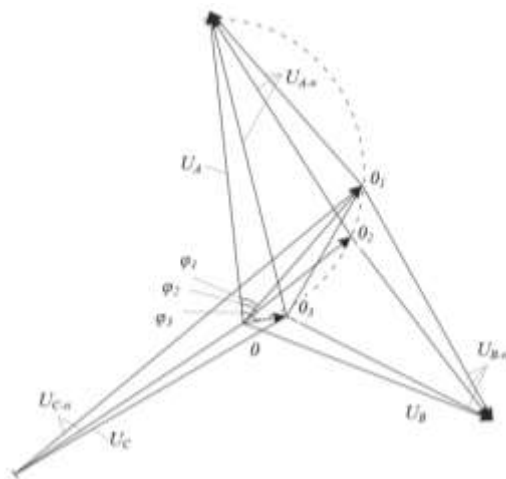


Рис.2. Векторная диаграмма напряжений при замыканиях на землю фазы A через разные сопротивления в сети с изолированной нейтралью

Эта полуокружность определяет соотношение напряжений на поврежденной и двух неповрежденных фазах:

$$U_{A-n} = \sqrt{U_A^2 + U_0^2 + 2U_A U_0 \cos \varphi}, \quad (3)$$

$$\dot{U}_{B-n} = \sqrt{U_B^2 + U_0^2 + 2U_B U_0 \cos(120 - \varphi)}, \quad (4)$$

$$\dot{U}_{C-n} = \sqrt{U_C^2 + U_0^2 + 2U_C U_0 \cos(120 + \varphi)} \quad (5)$$

Проанализируем достоинства и недостатки способов обнаружения аварийного состояния в системе электроснабжения, использующие факторы, возникающие при однофазном замыкании на землю и определяемые выражениями (1) – (5).

Способы, основанные на снижении абсолютного значения напряжения поврежденной фазы, используют принцип сравнения двух выпрямленных напряжений: измерительного и опорного. В качестве опорного служит фазное или линейное напряжение сети. При замыкании на землю напряжение между фазой и землей снижается, пропорционально снижается и измерительное напряжение. При достижении уставки срабатывает исполнительный орган.

Общим недостатком устройств, реализующих этот способ, является низкая чувствительность. Быстродействие этих устройств зависит, не только от емкости сети, но и их схемного выполнения.

Также в системе электроснабжения шахт применяют способ, основанный на определении сдвига угла между фазными напряжениями и ННП, которым определяется аварийное состояние изоляции. Устройства защиты содержат фазочувствительные элементы в каждой фазе, которые сравнивают между собой два напряжения: измерительное – нулевой последовательности и опорное – фазное. При замыкании на землю одной из фаз сети, когда векторы напряжения поврежденной фазы и нулевой последовательности совпадают или близки по фазе, срабатывает фазочувствительный элемент только на поврежденной фазе.

Недостатком устройств, реализующих этот способ, является низкая чувствительность, т.к. угол максимальной чувствительности ограничивается необходимостью отстройки от ложных срабатываний фазочувствительных элементов на неповрежденных фазах.

В подземных сетях применяются также устройства, реализующие разность абсолютных значений фазных напряжений поврежденной и опережающей фазы. Эти устройства имеют чувствительность в 2-3 раза больше, чем устройства, работающие на принципе снижения абсолютных значений напряжения поврежденной фазы. Время выбора поврежденной фазы

этими устройствами составляет не более 20 мс.

Для обнаружения аварийного состояния изоляции в обособленных сетях высокого напряжения на угольных шахтах применяется способ наложения постоянного оперативного напряжения на рабочую сеть и контроль его величины в цепи «три фазы – земля» [4]. При величине оперативного напряжения 500В, токе срабатывания 30 мА и собственном времени срабатывания при однофазной утечке сопротивлением 1кОм не более 0,06с устройства защиты, реализующие данный способ, существенно снижают тяжесть поражения людей электрическим током и вероятность взрыва метановоздушной смеси, а также опасность возгорания изоляции электрооборудования и горючих материалов. К недостатку таких устройств следует отнести использование оперативного напряжения выше нормируемого [5].

Способ сравнения токов источников питания эталонного и измерительного напряжения, подключенных непосредственно к элементу сравнения, используется в устройствах защиты для обнаружения аварийного состояния изоляции (утечки) в кабельных сетях напряжением 380/660/1140 В при емкости сети от 0 до 1,0 мкФ/фазу [6]. От постороннего источника энергии на контролируемую сеть накладывается измерительное напряжение, не превышающее действующего фазного напряжения сети согласно [7]. Эталонное напряжение имеет форму прямоугольных импульсов, вырабатываемых генератором повышенной частоты. При бесконечно большом сопротивлении изоляции контролируемой сети амплитудное значение измерительного тока меньше амплитудного значения эталонного тока, вследствие чего исполнительное реле устройства защиты находится во включенном состоянии.

При снижении сопротивления изоляции контролируемой сети ниже допустимого значения по условиям безопасности, амплитуда измерительного тока превысит амплитуду эталонного тока, в результате элемент сравнения выдаст команду на отключение исполнительного реле, воздействующего на цепи управления коммутационным аппаратом. В сетях напряжением до 1140 В устройства защиты, реализующие этот способ, обеспечивают быстрое обнаружение утечек тока на землю.

Контроль тока нулевой последовательности (ТНП) используется в устройствах токовой защиты для выявления аварийного состояния в шахтной сети [8]. Под действием фазных напряжений через емкости фаз относительно земли в нормальном режиме протекают емкостные токи, сумма которых равна нулю. При замыкании на землю в месте повреждения токи проходят через емкости фаз сети, вследствие чего появляется ТНП. Ем-

костной ток, проходящий через трансформатор нулевой последовательности равен полному току сети за вычетом тока, замыкающегося через емкость поврежденной линии. Для обеспечения селективности действия токовой защиты необходимо отстроить уставку ее срабатывания от собственного емкостного тока поврежденной линии, что возможно только при количестве присоединений не менее пяти, когда суммарный емкостной ток сети на порядок превышает емкостной ток каждого присоединения.

Анализ схем участкового электроснабжения напряжением 3,3 кВ показал, что эти участковые сети являются обособленными и имеют относительно земли малые емкости, вследствие чего емкостные токи замыкания на землю не будут превышать 0,3 А.

Например, анализ схемы электроснабжения участковой сети «Шахта Костромовская» показал, что напряжением 3,3 кВ запитан только добычной комбайн SL-500 фирмы «Айкхофф» от понизительной трансформаторной подстанции ЕН-1500 /6/3,3 кВ со съемными контакторными блоками НРС 450-1, обеспечивающими защиту комбайна от перегрузки и токов к.з. Электроснабжение комбайна осуществляется по кабелю КГЭН 6-3х70+ 1 х10 + 3х6 мм² длиной 300 м.

Использование контроля ТНП в участковых сетях напряжением 3,3 кВ не представляется возможным т.к. сети, являясь обособленными, имеют малые токи замыкания на землю, что не позволяет реализовать отстройку от ложных срабатываний.

В разветвленных кабельных сетях угольных шахт, где токи замыкания на землю составляют до 30 А, применяются устройства защиты, реализующие способ контроля изменение угла между током и ННП[9]. При замыкании на землю появляется ННП, которое равно напряжению поврежденной фазы. Ток в месте повреждения равен геометрической сумме токов в неповрежденных фазах, противоположен им по фазе и отстает от ННП на 90°.

Минимальная уставка срабатывания выбирается исходя из отстройки от ложных срабатываний и принимается не менее 0,5А, поэтому применение этого способа в обособленных участковых сетях 3 кВ не представляется возможным.

ВЫВОДЫ

Анализ известных способов, используемых для определения аварийного состояния электрооборудования вследствие возникновения утечки на землю, показал, что наиболее достоверным фактором появления однофаз-

ной утечки в сети является снижение напряжения на одной из фаз и номинальное значение напряжения на других фазах с одновременным появлением напряжения нулевой последовательности более напряжения несимметрии.

Для повышения быстродействия обнаружения утечек тока целесообразно контролировать величину и положение вектора напряжения нулевой последовательности относительно фазных напряжений системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ягудаев Б.М. Защита от электропоражения в горной промышленности/ Б.М. Ягудаев, Н.Ф. Шишкин, В.В. Назаров. – Москва: Недра, 1982. – 152 с.
2. Определение граничных параметров емкостной составляющей токов утечки на землю, обеспечивающих электробезопасность шахтных участковых сетей 3,3 кВ / А.Ю. Гладков, И.П. Горошко, В.А. Гаврилко [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб./ МАКНИИ. – 2025. – Вып.№2 (69). – 49-57 с.
3. Сирота И.М. Защита от замыканий не землю в электрических системах / И.М. Сирота. – Киев: Изд-во АН Украинской ССР, 1965. – 208 с.
4. Аппараты общесетевой защиты от утечек тока на землю напряжением 3 кВ АЗО-3.00.000 РЭ. – Макеевка: НПП МЗША, 2006. – 18 с.
5. ГОСТ 33968-2016. Защита от сверхтоков и контроль изоляции рудничного электрооборудования: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2018-03-01/ Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 11 с.
6. Аппарат защиты от токов утечки унифицированный рудничный АЗУР-4 МК. ИТЭП.648513.001 РЭ. – Донецк: ИТЭП.2009. – 16 с.
7. ГОСТ 31612- 2012. Устройства защита от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические требования: – национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2013-02-15/ Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 11 с.
8. Чернобровов Н.В. Релейная защита / Н.В. Чернобровов. – Москва: Энергия, 1974. – 679 с.
9. Микропроцессорный блок защиты и управления БЗУ-2-11. РПА.056.00.000 РЭ. – Кривой Рог: НПП «РРА», 2017. – 51 с.

Получено: 02.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Диденко В.П.

UDC 621.316.93:622.691

**I.P. GOROSHKO, head of department,
V.V. DIDENKO, Ph. Dr. Eng., head of laboratory,
A.Y. GLADKOV, Ph. Dr. Eng., head of laboratory,
V.A. GAVRILKO, senior research worker,
R.A. PARKHOMENKO, head of laboratory; GBU MAKNI, Makeyevka;
D.A. LISITSYN, project chief designer; GBU Avtomatgormash, Donetsk**

**THE PROBLEM OF DETECTING OF GROUND-LEAKAGE CURRENT
IN SECTION NETWORKS WITH THE VOLTAGE OF 3,3 KV
OF COAL MINES**

The analysis has been carried out of the factors responsible for initiation of an accident condition of insulation of cables and electrical equipment in a sectional power supply system with the voltage of 3,3 kV.

Keywords: sectional networks with the voltage of 3,3 kV, mine, leakage current, fast-operating protection.

УДК 622.06

**И.Н. АНДРУСЕНКО, гл. инж. горного отд.; ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»,
г. Донецк**

О ТРАДИЦИОННЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ

Рассмотрены традиционные и нетрадиционные технологии использования каменного угля в энергетике и экологические последствия их применения.

Ключевые слова: уголь, энергетика, сжигание, экология, безопасность труда.

В настоящее время основным направлением использования каменного угля в России, как и во всем мире, является энергетика. Сжигание угля для получения электрической и тепловой энергии широко применяется в странах, обладающих его достаточными запасами и возможностями для добычи. Традиционные технологии извлечения угля и сжигания его в топках котельных и электростанций достигли предельного уровня в своем развитии. Изменить коренным образом этот технологический процесс уже нереально, можно лишь усовершенствовать отдельные его стороны. Дальнейшее использование традиционных технологий применения угля приведет к превращению угольных регионов в зоны экологического бедствия.

Открытая разработка угольных месторождений выводит из обращения огромные площади сельскохозяйственных земель и приводит к образованию «лунного» ландшафта после отработки запасов. Подземная добыча угля так же негативно влияет на состояние окружающей среды. Образование отходов в виде горной породы и необходимость ее складирования приводит к появлению на земной поверхности большого количества породных отвалов – терриконов, занимающих огромные площади и выбрасывающих в атмосферу большое количество угарного газа и других токсичных веществ. Ядовитые примеси во время дождей нередко попадают в гидрографическую сеть региона. В процессе подземной добычи угля могут происходить нарушения целостности вышележащего породного массива, приводящие к оседанию земной поверхности, образованию провалов и выходу на поверхность шахтных газов. Процесс транспортировки угля к местам потребления требует огромных затрат на создание наземной сети железнодорожного транспорта и мест складирования угля, и сопровождается характерным для твердого топлива уносом пыли. Кроме того, шахты нано-

сят экологический ущерб окружающей среде и являются источником производственного травматизма.

За период с 2010 года по 2025 год на угольных предприятиях произошло 106 аварий, в результате которых погибли 551 человек [1].

В Донбассе, за период с 2006 года по 2011 год, в результате крупных аварий на шахтах произошло восемь случаев группового травматизма.

На шахте им. А.Ф. Засядько 20.09.2006 г. при внезапном выбросе угля и газа погибли 13 шахтеров; 18.11.2007 г. в результате взрыва пылегазово-вой смеси – 101 человек, а в начале декабря в той же выработке произошло еще два взрыва – 82 шахтера получили ранения, 5 горноспасателей погибли.

На шахте "Краснолиманская" 23.05.2008 г. при выбросе угля и породы погибли 11 горняков. На шахте имени Карла Маркса в Енакиеве 08.06.2008 г. произошел мощный выброс угля и газа, в результате которого погибли 13 человек. На шахте им. А.А. Скочинского 08.06.2009 г. в результате внезапного выброса погибли 13 человек. На шахте "Суходольская–Восточная" 29.07.2011 года в результате взрыва метановоздушной и пылевоздушной смесей погибли 28 человек. В тот же день, вследствие обрушения башни с подъемным механизмом на шахте им. В.М. Бажанова в Макеевке погибли 11 горняков [2]. С 2014 года уровень травматизма на шахтах Донбасса резко снизился, однако это связано с кризисом в угольной промышленности региона, а не с улучшением условий труда.

Негативное воздействие на окружающую среду оказывают традиционные технологии сжигания угля. Для угольных тепловых электростанций характерны выбросы токсичных газообразных веществ и твердых частиц. На каждый 1кВт установленной мощности угольной электростанции ежегодно выбрасывается в атмосферу 500 кг золы и шлаков, 75 кг окислов серы и 10 кг окислов азота. В результате на небольшой электростанции мощностью 200 МВт в течение года в атмосферу попадает 100 тысяч тонн твердых частиц, 15 тысяч тонн сернистых соединений, 2 тысячи тонн окислов азота [3]. В связи с этим назрела необходимость применения в энергетике региона новых нетрадиционных, экологически чистых технологий добычи и переработки угля.

Цель работы – рассмотреть возможность использования в Донбассе нетрадиционных способов использования каменного угля.

Одним из важных направлений реализации новой политики является преобразование угледобывающей отрасли из сырьевой в отрасль по добыче и глубокой переработке угля. Ценность каменного угля определяется не только возможностью его использования в качестве топлива, но и как исходного сырья для производства различных материалов в химической промышленности.

Перспективным направлением является термохимическая переработка каменного угля – технологии подземной газификации угля (ПГУ) и подземного сжигания угля, заключающейся в сжигании угля под землей, без извлечения его на поверхность, и получении, при этом, многокомпонентного горючего газа, используемого в энергетике и химической промышленности. Данная технология исключает экологический ущерб на стадиях добычи, извлечения, хранения и транспортировки угля к потребителю, поэтому резко уменьшаются вредные выбросы на стадии сжигания потребителем газа ПГУ вместо угля.

До 1960 года в СССР действовали пять промышленных предприятий ПГУ. За годы их работы было газифицировано около 15 млн. тонн угля и получено примерно 50 млрд. кубометров газа [4]. Но уже к середине 60-х годов, с началом освоения месторождений дешевого природного газа в Западной Сибири, интерес к технологии ПГУ стал быстро падать. К настоящему времени разрабатываются новые, значительно более совершенные технологии подземной газификации угольных пластов, позволяющие развивать данную технологию на новом, гораздо более высоком техническом уровне.

Газификация угля производится обычно на воздушном дутье в длинных каналах, пробуренных по угольному пласту. Бурение длинных скважин сложной конфигурации с помощью электрических и винтовых забойных двигателей, в настоящее время, уже опробовано и применяется на практике.

Подвод дутья по мере выгазовывания пласта осуществляется с постепенным переносом точки подачи окислителя в зону горения и газификации угля. Осуществляется это путем отстрела или прожигания обсадной трубы, направленной наклонно дутьевой скважине, расположенной в пласте, без необходимости бурения вертикальных дутьевых скважин, которые в процессе горения угля будут находиться в зоне сдвижения горных пород. К настоящему времени разработаны конструктивные и технологические решения этого вопроса.

Для повышения теплоты сгорания сырого газа ПГУ газификация угля производится на дутье, обогащенном кислородом и паром $O_2 = 45\%$, а также на чистом кислородном дутье $O_2 = 95\%$ с присадкой перегретого пара. Пар для дутья получают в теплообменниках, установленных в оголовках газоотводящих скважин, что позволяет отказаться от сжигания дополнительного объема генераторного газа для выработки пара. Утилизация тепла, извлекаемого при ПГУ газа, позволяет возратить большую часть ранее теряемого физического тепла в зону газификации в виде перегретого пара и нагретого дутья.

Теплотворная способность газа ПГУ ниже теплотворной способно-

сти природного газа. Однако в топках котлов любой горючий газ сжигается в смеси с воздухом, и чем больше теплота сгорания газа, тем больше количество воздуха расходуется на его сжигание. В результате теплотворность используемых газовых смесей отличается менее значительно, чем первоначальная теплотворность газа ПГУ и природного газа. При этом объем выбросов углекислого газа и других продуктов горения, загрязняющих атмосферу, у природного газа в 4 раза больше, чем газа ПГУ [5].

Газ ПГУ, полученный на чистом кислородном дутье, целесообразно направлять для получения синтез-газа. Продуктом переработки синтез-газа может быть метанол, являющийся ключевым компонентом многих химических веществ.

Все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с земной поверхности скважинным способом без использования подземного труда, а разработка угольного пласта происходит экологически приемлемым способом.

Между тем, технология ПГУ имеет отрицательные стороны, несмотря на наличие определенных экологических преимуществ перед традиционными способами добычи угля. В первую очередь, это угроза химического загрязнения подземных вод продуктами сгорания и газификации угля. Существует также вероятность выбросов на дневную поверхность продуктов горения. Это может происходить в результате сдвижения вышележащего породного массива и увеличения его трещиноватости. Обрушение кровли пласта в зоне горения и газификации может привести к образованию провалов земной поверхности.

Для снижения степени воздействия подземного газогенератора на окружающую гидрогеологическую среду рабочее давление в нем должно быть равным или несколько меньшим величины существующего в этой зоне давления столба подземных вод. Этим самым создается депрессия подземных вод, локализуя загрязнение и препятствующая его распространению за пределы зоны газификации. В процессе газификации угля нейтрализация химических загрязнителей возможна также путем откачки подземных вод с использованием вертикальных скважин, пробуренных в нижнюю точку газогенератора, и очистки этих вод в поверхностном комплексе. После окончания процесса газификации необходимо откачивать воду из выгазованных пространств в очистные сооружения до полного отсутствия загрязняющих веществ в откачиваемой воде. Опыт показал, что после окончания работ по газификации и продолжающегося водоотлива происходит снижение концентрации загрязняющих компонентов до уровня, не превышающего предельно допустимые концентрации [6].

Исключение выбросов продуктов горения и газификации на дневную поверхность достигается использованием соответствующего оборудова-

ния, трубопроводов, средств автоматизации и контроля. Аварийные сбросы генераторного газа производятся на факельную установку, подключенную к трубопроводу, ведущему от оголовков газоотводящих скважин к поверхностному комплексу станции ПГУ.

Заполнение отработанного объема проводится подачей глиноцементного раствора в выгазованное пространство через сохранившиеся эксплуатационные скважины. Такой способ ликвидации отработанных газогенераторов, наряду с наличием в выработанном пространстве угольной золы и объемного расширения обрушенных пород кровли пласта, устраняет или значительно снижает угрозу образования провалов земной поверхности над отработанными газогенераторами.

Еще одной технологией, использующей уголь в энергетических целях, является разработанная в Санкт-Петербургском и Московском горных университетах технология подземного сжигания угля с утилизацией выделяющегося при этом тепла [7]. Отличительной чертой данной технологии является получение теплоносителя без горючих компонентов, в отличие от подземной газификации, т.е. все, что может гореть, сжигается под землей, и на выходе имеем негорючий высокотемпературный газообразный теплоноситель. Утилизация тепла, извлекаемого из газообразного теплоносителя, производится с помощью теплообменных аппаратов.

Если при подземной газификации используется нагнетательная подача дутья в зону горения, приводящая к прорыву продуктов горения через оставляемые целики угля, то при подземном сжигании угля используется всасывающая подача дутья, снижающая риски и существенно расширяющая область применения данной технологии. При помощи технологии подземного сжигания могут отрабатываться оставшиеся в недрах запасы угля, подработанные ранее горными работами, а также участки, расположенные вблизи действующих шахт. Данная технология может осуществляться как шахтным способом, с использованием подземных горных выработок, так и скважинным, для сжигания запасов, не вскрытых горными работами. Подземное сжигание угля может использоваться для местного теплоснабжения.

При внедрении новых технологий использования угля перенос основных операций из подземной среды на поверхность исключает внезапные выбросы угля, породы и газа, подземные взрывы в рудничной атмосфере, обрушения пород кровли, прорывы подземных вод в горные выработки и другие виды аварий, приводящие к массовому травматизму. Отсутствие вредных факторов, присущих подземному труду, позволит исключить «шахтные» профессиональные заболевания горнорабочих: пневмокониоз, бурсит, ревматизм, вибрационную болезнь и многие другие.

ВЫВОДЫ

Все традиционные и нетрадиционные технологии получения тепловой и электрической энергии, основанные на сжигании каменного угля, в той или иной степени, наносят вред окружающей среде, несмотря на существующие и разрабатываемые мероприятия, направленные на снижение экологического ущерба. Тем не менее, переход от традиционных способов добычи угля к новым технологиям значительно повысит безопасность труда в угольной отрасли, а это весомый довод для внедрения новых способов использования угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Представители Минэнерго и Ростехнадзора рассказали, почему шахтеры продолжают гибнуть в 2025 г. / сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР 2013-2025. URL: <https://www.gosnadzor.ru/news/67/16101/>.
2. Хронология крупных аварий на шахтах Донбасса с 2006 года. Информационное агентство ТАСС/ URL: <https://tass.ru/info/1806567/>.
3. Крейнин Е.В. Нетрадиционные углеводородные источники: новые технологии их разработки: монография / Е.В. Крейнин. – Москва: ООО «Проспект», 2016. – 208 с.
4. Антонова Р.И. Подземная газификация углей в СССР : обзор / Р.И. Антонова, А.Е. Бежанишвили, М.С. Блиндерман. – Москва: ЦНИЭИуголь, 1990. – 5 с.
5. Ларионов М.В. Исследование и разработка способов повышения теплоты сгорания газа, получаемого при подземной газификации угля (на примере Шкотовского бурогоугольного месторождения): дис. канд. техн. наук: 25.00.22 / Ларионов Михаил Викторович. – Владивосток, 2004. – 170 с.
6. Дворникова Е.В. Анализ формирования и прогноз распространения зон загрязнения подземных вод при газификации угольных пластов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.11. / Дворникова Елена Васильевна. – Москва, 1996. – 24 с.: ил.
7. Ржевский В.В. Подземное сжигание углей: учеб. пособие / В.В. Ржевский В. В.; Моск. горн. ин-т. – Москва : МГИ, 1990. – 84 с.

Получено: 01.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Гомаль И.И.

UDC 622.06

I.N. ANDRUSENKO, *chief engineer of mining department;*
GBU DONGIPROSHAKHT, Donetsk

**TRADITIONAL AND UNCONVENTIONAL USE
OF HARD COAL**

In this research paper traditional and unconventional technologies for use of hard coal in energetics are considered as well implications of its use.

Keywords: coal, energetics, burning, environmental biology, labour safety.

УДК 622.2

Л.Ф. ТРУНОВ, зав. лаб.,

А.В. ГОРЕЛОВ, ст. науч. сотр.; ГБУ «ДОНУГИ», г. Донецк

**О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРОВЛИ В ЛЮБОЙ
ТОЧКЕ ЦЕЛИКА**

Показана необходимость разработки методики для определения категорий устойчивости непосредственной кровли в любой точке целика в зависимости от величины опорного давления. Методика позволит обеспечить оптимальный выбор технологических схем подготовки и отработки целиков, рациональных способов выемки угля, крепления и управления кровлей.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, параметры, целик, вмещающие породы, опорное давление, категория устойчивости, геомеханические процессы.

На действующих шахтах ДНР, при сложившейся системе подготовки и отработки угольных пластов, остается значительное количество целиков, в которых находится около 30 % промышленных запасов угля. В соответствии с современными тенденциями развития технологии подземной угледобычи основополагающим является повышение коэффициента извлечения. Для этого необходим комплексный подход к разработке запасов угля, включающий применение технологий, обеспечивающих эффективное и безопасное ведение горных работ не только в массиве угля, но и в целиках. Особенность отработки целиков состоит в том, что горные работы ведутся в зонах опорного давления, создаваемого ранее отработанными лавами. Поскольку влияние этих зон на устойчивость пород целиков недостаточно изучено, актуально определять параметры напряженно-деформированного состояния вмещающих пород целиков.

Массив горных пород и угольный пласт в нетронутом состоянии находятся в напряженном геостатическом равновесии, нарушаемом очистными работами, следствием которых является сдвигание пород.

Цель статьи – информирование специалистов угольных предприятий о необходимости разработки методики для определения категорий устойчивости кровли в любой точке целика угля в зависимости от величины опорного давления.

Как известно [1], в зависимости от свойств отдельных слоев боковых

пород и их расположения относительно угольного пласта, различают непосредственную и основную кровлю. Непосредственная кровля – толща пород, залегающая непосредственно над угольным пластом, давление которой, в пределах призабойного пространства, в основном, воспринимает крепь и целик угля. Породы непосредственной кровли составляют зону неупругих деформаций. Вес разрушенных пород в зоне неупругих деформаций передается почве пласта в выработанном пространстве очистного забоя. Вес пород, зависших над выработанным пространством, в зоне упругих деформаций, передается целику угля и породы непосредственной кровли, определяя опорное давление на пласт. Под действием этого давления, максимальная величина которого в несколько раз превышает гравитационное давление, краевые части целиков угля и породы непосредственной кровли переходят в хрупко-пластическое состояние, образуя зону разрушенного угля и зону нарушений непосредственной кровли, в которой появляются трещины различной направленности, влияющие на устойчивость кровли.

В соответствии с [2] способность обнаженных и не поддерживаемых крепью нижних слоев пород кровли сохранять целостность и не выпадать в призабойное пространство очистной выработки характеризует устойчивость кровли. Она характеризуется размерами и продолжительностью устойчивого состояния обнажений кровли на незакрепленном участке.

Согласно классификации ГБУ «ДОНУГИ» [1] устойчивость нижнего слоя кровли установлена по технологическим признакам, геомеханическим критериям и опыту работы в аналогичных условиях, в зависимости от крепости пород f , расстояния между трещинами L , мощности нижнего слоя кровли, который может обрушиться B и размера устойчивого шага D зависания пород в выработанном пространстве после извлечения крепи, следующим образом:

B_1 – весьма неустойчивы, представлены слоем углисто-глинистого аргиллита или сланца ($f < 2$) с характерными плоскостями ослабления, обрушающимися вместе с разрушаемым при выемке углем. Поддержание такого слоя в пределах призабойного пространства возможно лишь при оставлении подкровельной пачки угля, если последняя имеет достаточную устойчивость на уровне B_3 и более. Рекомендуемая мощность защитной пачки угля составляет от 0,2 до 0,3 м;

B_2 – неустойчивые, представленные чаще всего тонким слоем трещиноватого непрочного ($2 < f \leq 3$) углисто-глинистого, глинистого или песчано-глинистого сланца (аргиллита; алевролита), реже – песчаника или известняка, не способные образовывать устойчивые обнажения, но к ним

можно применить искусственные методы повышения их устойчивости, по крайней мере, до уровня следующей категории B_{2-3} ;

B_3 – малоустойчивые, представленные обычно слоем сланцев, реже песчаника или известняка ($3 < f \leq 5$), которые способны образовывать относительно устойчивые обнажения на небольшой площади;

B_4 – средней устойчивости, представленные, как правило, слоем прочного сланца ($5 < f \leq 7$) или песчаника, реже – известняка, которые образуют устойчивые обнажения в призабойном пространстве;

B_5 – устойчивые кровли, представленные почти всегда монолитным слоем прочного ($f > 7$) песчаника, известняка, реже – песчаного сланца.

Устойчивость нижнего слоя кровли, в зависимости от геомеханических критериев, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость устойчивости нижнего слоя кровли от
геомеханических критериев

Категория пород	Геомеханические критерии		
	B , м	Γ , м	D , м
B_1	0,01 – 0,20	0,005 – 0,100	0
B_2	0,05 – 0,30	0,100 – 0,400	$\rightarrow 0$
B_3	0,10 – 0,50	0,300 – 0,600	≤ 2
B_4	0,20 – 0,70	0,500 – 1,000	≤ 5
B_5	0,50 – 2,00	1,000	5

Указанные критерии определяют устойчивость кровли в нетронutom массиве угля. Однако, в результате ведения очистных работ, в краевой части пласта образуется опорное давление, влияющее на устойчивость нижнего слоя кровли. Кроме этого, влияние целиков и краевых частей, оставленных при отработке смежных пластов, следует рассматривать как техногенный фактор, усложняющий условия отработки пластов и требующий учета при планировании очистных работ. При анализе влияния этого фактора определяющим является изменение исходных структурно-деформационных свойств массива. Процессы изменения структурно-деформационных свойств затрагивают как непосредственно породные слои, так и, в большей степени, межслоевые контакты. В результате массив представляет собой чередование участков с разной структурной прочностью. Следовательно, фактическое состояние пород призабойного контура, находящегося в зоне опорного давления, определяется суммарным влиянием:

– исходных структурно-деформационных свойств массива;

– изменением структурно-деформационных свойств массива в результате влияния целиков и краевых частей, оставленных при отработке других пластов, помимо влияния ведения горных работ на разрабатываемом пласте;

– дополнительным изменением структурно-деформационных свойств в зависимости от ведения горных работ на разрабатываемом пласте.

Опорное давление проявляется в широких диапазонах в зависимости от структуры породного массива, геометрических параметров выработанного пространства, при этом его максимальный уровень может превышать первоначальное геостатическое давление в 20 раз [3]. Сложность определения параметров опорного давления начинается с различия его толкования, как термина, рядом видных ученых (А.А. Борисов, П.В. Егоров, И.М. Петухов, К.А. Ардашев и др.). Данное обстоятельство требует комплексного подхода к расчету опорного давления, так как вопрос определения параметров «пригрузки» остается открытым и по теории определяется коэффициентом концентрации напряжений в диапазоне от 1,3 до 3,0 [3].

Для выбора оптимальных технологических схем выемки угля, крепления и управления кровлей, при планировании ведения горных работ в целиках, необходимо знать устойчивость пород кровли в любой точке целика. Для этого необходимо определить опорное давление в характерных зонах впереди очистного забоя и его связь с устойчивостью пород непосредственной кровли в каждой точке этой зоны. На основании изложенного необходимо разработать методику для определения категорий устойчивости непосредственной кровли в любой точке целика в зависимости от величины опорного давления. Разработка указанной методики позволит обеспечить выбор оптимальных технологических схем подготовки и отработки целиков, рациональных способов выемки угля, крепления и управления кровлей.

ВЫВОДЫ

В процессе анализа различных понятий опорного давления, зон повышенного горного давления и защитного действия пластов, влияющих на величину напряжения в зоне опорного давления, было установлено следующее:

– для определения влияния опорного давления на устойчивость непосредственной кровли необходимо знать величину зоны опорного давления и его значения в каждой точке;

– на величину опорного давления оказывают влияние зависающие породы кровли над выработанным пространством разрабатываемого пла-

ста и зоны повышенного горного давления и защиты, образуемые под влиянием угольных целиков, краевых частей и выработанного пространства на смежных пластах;

– для одной и той же горной выработки (угольного целика) могут быть применены различные гипотезы горного давления, на основании которых определяются параметры опорного давления.

– необходимо разработать методику для определения параметров напряженно-деформированного состояния вмещающих пород угольных целиков, позволяющую устанавливать категории устойчивости непосредственной кровли в любой точке целика, находящегося в зоне влияния опорного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации «Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°» / С.В. Балов, Л.Ф. Трунов, Л.Н. Капран, М.Е. Григорюк. – Донецк: ГБУ «ДОНУГИ», 2023. – 151 с.

2. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. – СПб: Министерство топлива и энергетики РФ. Научно-исследовательский институт горной механики и маркшейдерского дела, 1993. – 147 с.

3. Ремезов А. В. Теоретические и методические вопросы определения параметров опорного давления в горных выработках и практика их применения / А.В. Ремизов // Уголь. – 2018. – № 6. – С. 21-25.

Получено: 15.07.2025

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Балов С.В.

UDC 622.2

L.F. TRUNOV, head of lab.,

A.V. GORELOV, senior researcher worker; GBU "DONUGI", Donetsk

CHANGE IN STRUCTURAL-DEFORMATION PROPERTIES OF HOST ROCKS AFFECTING ROOF STABILITY AT ANY POINT OF A PILLAR LEFT AFTER COAL EXTRACTION

The problem of mining unextracted coal reserves in pillars located in zones of influence of supporting pressure from previously performed mining operations, which is relevant for the DPR mines, requires determining the parame-

ters of the stress-strain state of the pillar's host rocks in order to establish at any point the categories of roof rock stability as the main criterion for selecting the optimal option for the technology of preparation, extraction, support and roof management.

Key words: stress-strain state, parameters, pillar, host rocks, support pressure, stability category, geomechanical processes.

УДК 622.411.33 - 622.817

**А.П. ГАРБУЗОВ, зам. директора,
А.В. КРЮЧЕНКОВ, зав. лаб.,
И.И. ЗОЛОТУХИН, науч. сотр.,
В.В. ЗАХЛЕБИН, науч. сотр.; ГБУ «ДОНУГИ», г. Донецк**

ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СТРУИ – ОСНОВА РАБОТЫ БЛОКИРОВКИ ШАХТНЫХ ШЛЮЗОВ

Разработано энергонезависимое устройство для блокировки шахтных шлюзов, позволяющее исключить короткое замыкание вентиляционной струи, поступающей на выемочные участки шахт, и предложен стенд для проведения его лабораторных испытаний.

Ключевые слова: метан, горная выработка, депрессия, перепад давления, расчет времени, фиксатор, лабораторные испытания.

Программой развития угольной промышленности России до 2035 г. определены цели и мероприятия государственной политики в угольной отрасли, основными задачами которых являются технологическое развитие угольной промышленности и промышленная безопасность [1].

В шахтах для предупреждения короткого замыкания вентиляционной струи, поступающей на выемочные участки, устанавливают вентиляционные шлюзы, около 6000 которых с различными типами блокировок эксплуатируется на шахтах. Самый распространенный тип блокировки дверей вентиляционного шлюза реализован при помощи канатно-тросовой системы, смонтированной между вентиляционными дверями шлюза. Однако эти блокировки не реагируют на нарушение исправного состояния вентиляционных дверей и потерю перепада давления на шлюзе.

Иногда применяется электромеханическая блокировка, которая имеет сложный механический привод и высокую стоимость [2].

Согласно требованиям п. 137 [3], вентиляционные устройства должны иметь блокировку, препятствующую одновременному открыванию дверей, и предотвращающую закорачивание вентиляционных струй.

Цель работы – информирование специалистов, занимающихся вопросами аэрологической безопасности о создании энергонезависимого устройства для блокировки шлюзов.

Разработанное устройство для блокировки шлюза (УБШ) является энергонезависимым и содержит два фиксатора, металлические оси которых соединены с мембранами, два упора, воздухопроводы, соединенные с

фиксаторами, крепежные материалы. УБШ устанавливают на первой и последней перемычках шлюза над вентиляционными дверями. При закрытых дверях шлюза на фиксаторы воздействует перепад давления вентиляционной струи, вследствие чего двери разблокированы. При открывании первой двери шлюза, давление выравнивается, ось фиксатора опускается под собственным весом, блокируя вторую дверь.

На рис. 1 показана схема установки УБШ на шлюзе.

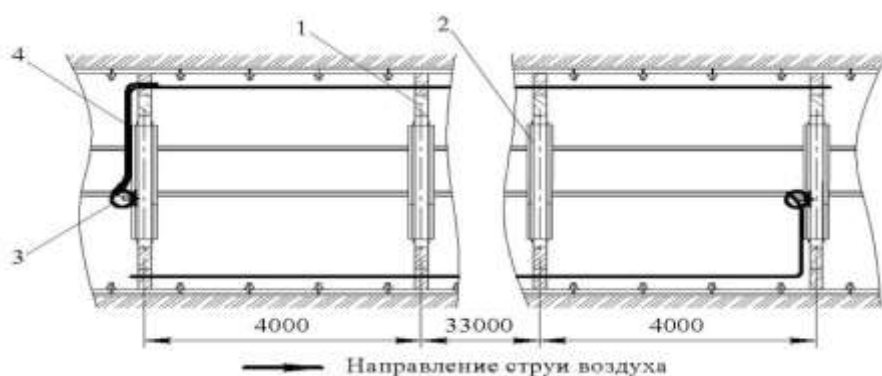


Рис. 1. Схема установки УБШ на шлюзе:

1 – перемычка, 2 – вентиляционная дверь, 3 – фиксатор, 4 – трубка

На рис. 2 показана схема установки фиксатора на вентиляционную дверь.

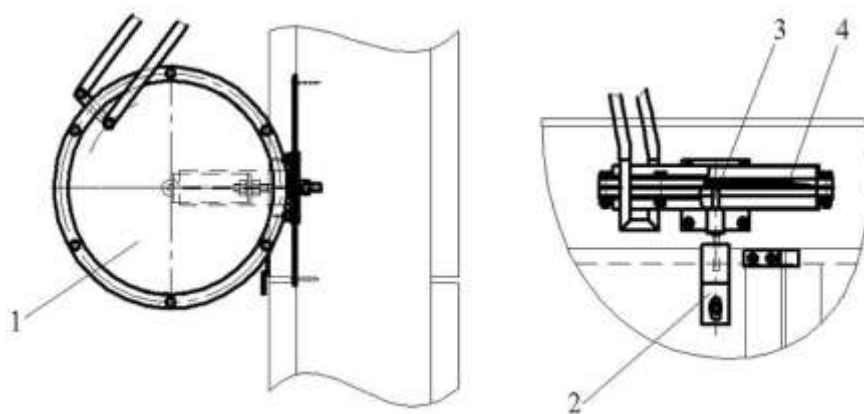


Рис. 2. Схема установки фиксатора:

1 – крышка фиксатора, 2 – упор, 3 – металлическая ось, 4 – мембрана

Фиксаторы устанавливаются на вентиляционные двери с помощью крепежных деталей.

Известно, что все шлюзы эксплуатируются в разных аэрологических

условиях, в частности при депрессии от 20 до 400 мм вод. ст.

При блокировании и разблокировании вентиляционных дверей важную роль играет время срабатывания фиксатора, которое зависит не только от перепада давления воздуха, но и от массы диска с мембраной, соединенного с осью, блокирующую дверь. Для подъема оси необходима сила, превышающая вес оси в сборе. Принимаем давление в трубке (перепад давления воздуха на перемычке) $p_{\text{в}} = 20$ даПа или $p_{\text{в}} = 0,00204 \text{ кгс/см}^2$, масса оси $M_{\text{оси}} = 0,78$ кг. Сила, действующая на ось с мембраной P_{20} , под действием перепада давления $p_{\text{в}}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{20} = p_{\text{в}} \cdot S, \text{ где: } S - \text{площадь мембраны фиксатора, см}^2;$$

$$S = \pi \cdot d^2 / 4, \text{ где: } d - \text{диаметр мембраны фиксатора 30 см.}$$

Отсюда: $P_{20} = 0,00204 \cdot 3,14 \cdot 30^2 / 4 = 1,44$ кг, что значительно больше силы, требуемой для подъема оси. А вот время опускания зависит от давления воздуха $p_{\text{оси}}$, создаваемого массой оси:

$$p_{\text{оси}} = M_{\text{оси}} / S = 0,78 / (3,14 \cdot 30^2 / 4) = 0,0011 \text{ кг/см}^2 \text{ или } 11 \text{ мм вод. ст.}$$

Аналогично рассчитывается срабатывание фиксатора для других значений перепада давления и массы оси в сборе. Фактическое время срабатывания фиксатора определялось на лабораторном стенде, схема которого представлена на рис. 3.

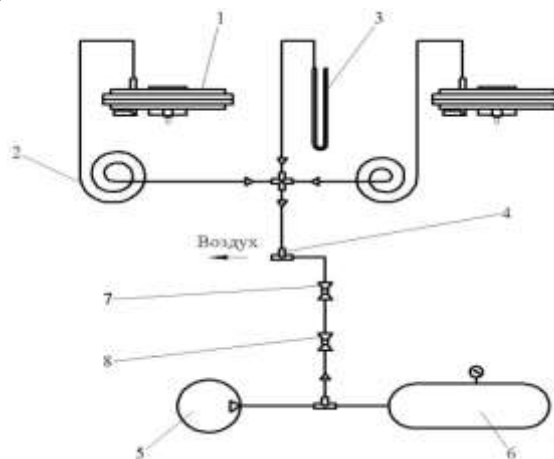


Рис. 3. Схема стенда лабораторных испытаний УБШ:

1– фиксатор, 2 – трубка в бухте (50 м), 3 – мановакуумметр U-образный,
4 – эжектор, 5 – компрессор, 6 – ресивер, 7, 8 – кран шаровый

Лабораторные испытания проведены в условиях перепада давления воздуха от 20 до 400 мм вод. ст. Каждый цикл эксперимента повторялся трижды для одного и того же перепада давления. Всего проведено 7 испытаний при разных длинах и сечениях трубок, изменении веса оси фиксатора в зависимости от перепада давления. Результаты испытания показаны на рис. 4.

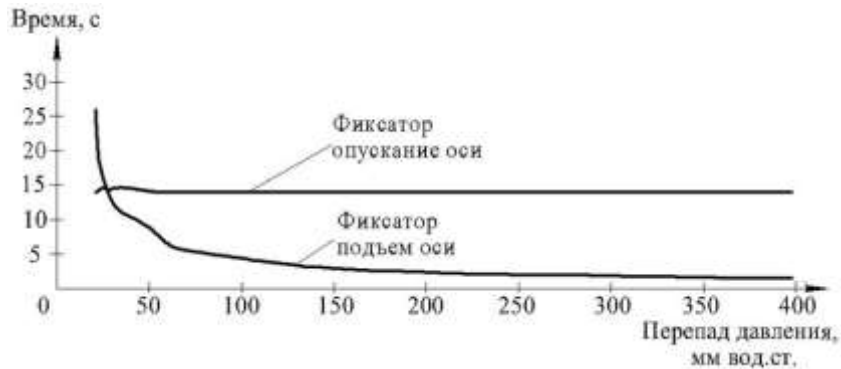


Рис. 4. График зависимости времени опускания и подъема оси фиксатора от перепада давления в вентиляционной струе

Время от момента действия депрессии на фиксатор до принятия осью крайнего верхнего положения – время разблокировки двери. Результаты замеров при испытании представлены в таблице.

Таблица

Результаты замеров

№ п/п	Перепад давления, мм вод. ст.	Фиксатор		№ п/п	Перепад давления, мм вод. ст.	Фиксатор	
		Время опускания оси при отсутствии перепада давления, с	Время подъема оси за счет перепада давления, с			Время опускания оси при отсутствии перепада давления, с	Время подъема оси за счет перепада давления, с
1	21	14	26	9	110	14	4
2	22	14	19	10	140	14	3
3	25	15	16	11	185	14	2,5
4	28	14	14	12	235	14	2
5	32	15	11	13	270	14	2
6	50	14	9,5	14	325	14	1,8
7	60	14	6	15	366	14	1,5
8	74	14	5,5	16	398	14	1,5

Приемочные испытания УБШ будут проведены на шлюзе людского

ходка центрального квершлага шахты ООО «УГЛЕКОМ» при закрытом (рис. 5) и открытом (рис. 6) положении шлюза.

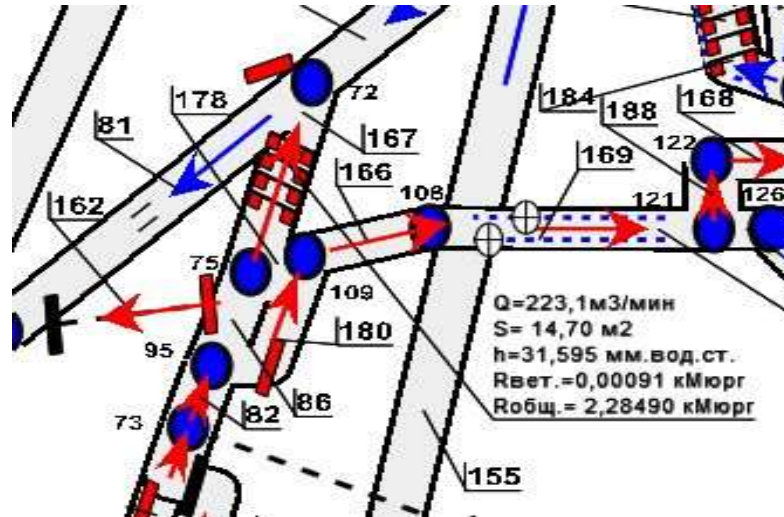


Рис. 5. Распределение количества воздуха в 1-й северной разгрузочной лаве пл. l_6 при закрытом шлюзе

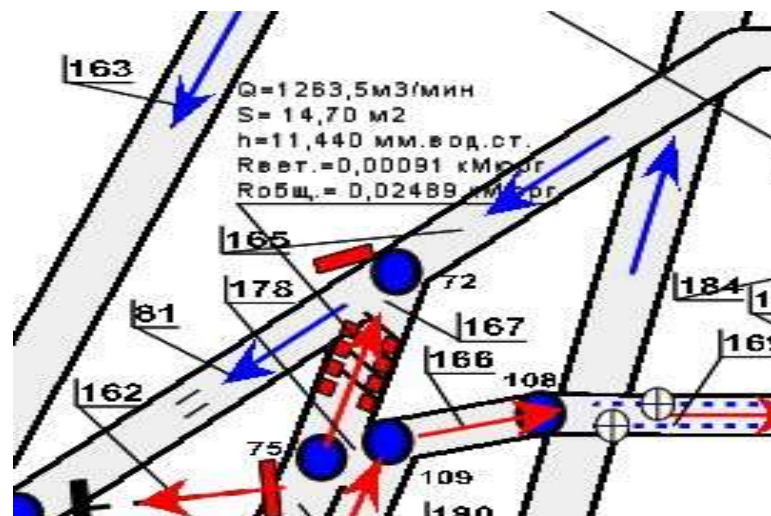


Рис. 6. Распределение количества воздуха в 1-й северной разгрузочной лаве пл. l_6 при открытом шлюзе

Шлюз, состоит из четырех перемычек с двухстворчатыми нормальными и реверсивными дверями, установлен для предотвращения закорачивания вентиляционной струи перед 1-й северной лавой пл. l_6 .

Для сравнения теоретических и практических аэродинамических по-

казателей шлюза выполнены расчеты по данным паспорта шлюза. На выемочный участок поступает 917 м³/мин воздуха, в лаву – 761 м³/мин. При открывании шлюза расход воздуха в лаве не должен уменьшиться более чем на 30 % (228 м³/мин). Согласно п. 8.2 [4] нормы утечек воздуха через шлюзы $Q_{\text{ут.шл}}$ (м³/с) рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{ут.шл}} = k_{\text{пер}} \cdot Q_{\text{ут.н}},$$

где $k_{\text{пер}}$ – коэффициент, зависящий от количества перемычек в шлюзе; принимается 0,57 при четырех;

$Q_{\text{ут.н}}$ – норма утечек воздуха через одну перемычку при общем перепаде давления 50 даПа на шлюзе составляет 1 м³/с, согласно таблице 8.2 [4]:

$$Q_{\text{ут.шл}} = 0,57 \cdot 1,0 = 0,57 \text{ м}^3/\text{с}$$

Однако фактические утечки 3,72 м³/с (223 м³/мин) превышают расчетные в 8 раз и близки к закорачиванию вентиляционной струи.

При нормальном режиме работы вентилятора главного проветривания определяем расход воздуха (утечки) через шлюз:

$$H = R \cdot Q^2,$$

где H – депрессия исследуемой вентиляционной ветви, мм вод. ст.,

R – сопротивление ветви, кМюрг,

Q – расход воздуха, м³/сек.

По данным депрессионной съемки, когда шлюз закрыт, общая депрессия в вентиляционной ветви людского хода составит:

$$H_1 = R \cdot Q^2 = 2,2858 \cdot 3,72^2 = 31,6 \text{ мм вод. ст.}$$

При открывании шлюза общая депрессия выработки составит:

$$H_2 = R \cdot Q^2 = 0,0258 \cdot 21,06^2 = 11,4 \text{ мм вод. ст.}$$

Перепад давлений вентиляционной струи при открытом шлюзе между первой и четвертой перемычками составит $H_1 - H_2 = 20,2$ мм вод. ст., что соответствует его минимальному значению при работе фиксатора УБШ.

Фактические утечки воздуха через шлюз и снижение его сопротив-

ления открыванию вентиляционных дверей могут привести к закорачиванию вентиляционной струи на выемочном участке и загазированию выше допустимой нормы.

Испытания в лабораторных условиях доказали работоспособность УБШ и в дальнейшем может быть направлено в шахту на приемочные испытания в соответствии с требованиями [5]. При проведении приемочных испытаний необходимо учитывать утечки и перепад давления воздуха для определения его воздействия на фиксаторы УБШ при закрытых дверях шлюза.

ВЫВОДЫ

Изготовленный опытный образец энергонезависимого устройства блокировки закорачивания вентиляционной струи шлюзовых устройств с использованием перепада давления воздуха на вентиляционном сооружении в лабораторных условиях показал свою работоспособность.

При получении положительных результатов приемочных испытаний опытного образца будет подготовлена конструкторская документация на несерийное производство энергонезависимой блокировки вентиляционных шлюзов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р. – 226 с.
2. Письмо РОСТЕХНАДЗОР от 25.04.2025г. № 13-00-04/155 на письмо ГБУ «ДОНУГИ» от 04.04.2025г № 10-82.
3. Правила безопасности в угольных шахтах. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 N 507 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности».
4. Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт (утв. Минуглепромом СССР 25.03.1974, утв. Госгортехнадзором СССР 21.03.1974 – 82 с.
5. Технический регламент союза ТР ТС 010/2011 О безопасности машин и оборудования (с изменениями на 16 мая 2016 года) <http://mos.gosnadzor.ru/about/documents/ТР%20ТС%200102011%20О%20безопасности%20машин%20и%20оборудования.pdf>

Получено: 05.08.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Балов С.В.

UDC 622.411.33 - 622.817

A.P. GARBUZOV, deputy director,

A.V. KRYUCHENKOV, head of laboratory,

I. I. ZOLOTUKHIN, research worker,

V.V. ZAKHLEBIN, research worker; GBU DONUGI, Donetsk

**PRESSURE DIFFERENCE OF AN AIR FLOW
AS THE BASIS FOR FUNCTIONING OF SHAFT LOCK BLOCKING**

An electrically independent device for shaft lock blocking has been developed, which enables prevention of short circuit of an air flow arriving to mine working areas; the bench testing unit for its bench-scale testing is suggested.

Keywords: methane, mine working, depression, pressure difference, calculation of time, lock, bench-scale testing.

УДК 53.082.722.4

**А.Ю. КАРПОВСКИЙ, зав. отд.,
С.В. СВИСТЕЛЬНИК, ведущий инж.,
А.В. ГРЕЧАНОВСКИЙ, ведущий программист,
С.В. ШАШКОВА, инж.- конструктор; ГБУ «Автоматгормаш
им. В.А. Антипова», г. Донецк;
А.Ю. ГЛАДКОВ, канд. техн. наук, зав. лаб.; ГБУ «МАКНИИ»,
г. Макеевка**

О ПРИБОРЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЗРЫВНОГО ИМПУЛЬСА ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Разрабатываемый прибор для контроля взрывного импульса позволит проверять взрывные машинки, используемые в шахтах, опасных по газу и угольной пыли, что повысит безопасность ведения буровзрывных работ.

Ключевые слова: прибор, взрывной импульс, лабораторные испытания, настройка, импортозамещение, отладочная плата.

При ведении буровзрывных работ (БВР) применяют взрывные машинки (ВМ), которые необходимо проверять на соответствие установленным техническим характеристикам согласно [1]. Работоспособность ВМ проверяется приборами для контроля взрывного импульса (ПКВИ), позволяющими определять величину и длительность импульса тока. Если эти параметры находятся в допустимых пределах, делается заключение о пригодности ВМ к эксплуатации [2]. Однако анализ показал, что существующие ПКВИ имеют ряд недостатков: высокие массогабаритные показатели, недостаточную информативность индикации, отсутствие оценки параметров «дребезга» взрывного импульса и возможности сохранить данные. Кроме того, согласно требованиям [3] уровень взрывозащиты ПКВИ является недостаточным для проверки ВМ на стационарных взрывных пунктах в угольных шахтах, опасных по газу или пыли. Для данной проверки требуется уровень взрывозащиты приборов не ниже РВ. В силу наличия в приборе частей, образующих искру, разрешение использования переносных периодически применяемых электрических приборов с уровнем взрывозащиты РН1 или приборов общего назначения сводится к нулю.

Учитывая изложенное, актуальность разработки современного, надежного в эксплуатации ПКВИ с уровнем взрывозащиты не ниже РВ, очевидна.

Цель работы – разработка прибора для проверки взрывных машинок, используемых в шахтах, в том числе, опасных по газу и угольной пыли.

Для безопасного ведения БВР необходимо, чтобы ПКВИ обеспечивал следующие виды контроля ВМ [4]: длительности импульса напряжения; импульса тока; тока в конце импульса; показания омметра ВМ. К основным параметрам, необходимым для оценки пригодности ВМ к использованию при ведении БВР, относятся:

- максимальное значение длительности импульса напряжения – 4 мс, фиксируемое ПКВИ как допустимое;

- максимальное значение импульса тока $3A^2$ мс, фиксируемое прибором как допустимое;

- минимальный ток $1A$ в конце импульса, при котором импульс фиксируется как допустимый;

- встроенное переменное сопротивление 50, 100, 150, 225, 320 Ом, осуществляющее контроль импульса тока и показаний омметра;

- предельная амплитуда напряжения импульса 1кВ, проверяемая ВМ;

- погрешность контроля не более $\pm 5\%$ контролируемой величины длительности импульса напряжения, импульса тока и тока в конце импульса.

Наличием импульса и началом его оцифровки является сила тока более 50 мА. При проверке омметра ВМ оценивается ток в цепи взрывной магистрали и электродетонаторов (ЭД) и, если ПКВИ не отреагировал, то ток не превышает допустимую стандартом величину [5, 6].

О разрыве и «дребезге» импульса свидетельствует плавление мостика за время не менее 0,6 мс и максимальный не воспламеняющий ток 0,2 А для ЭД короткозамедленного действия [5]. Таким образом, отсчеты микроконтроллера ПКВИ, в которых ток менее 0,2 А не учитываются при расчете длительности импульса и импульса тока. При этом, если продолжительность таких отсчетов превышает 0,6 А, импульс тока считается с разрывом. Подсчет количества отсчетов с воспламеняющим током более 0,87 А основан на достижении импульса $3A^2 \cdot \text{мс}$ за максимальное время срабатывания ЭД 4 мс [5,7]. Расчет длительности импульса сводится к произведению количества отсчетов на шаг дискретизации, составляющий 17,625 мкс.

Рассматривая ПКВИ, как «черный» ящик, определяем форму и параметры его входного сигнала. Выходной сигнал конденсаторной ВМ характеризуется энергией, накопленной конденсатором, а также потерями, вызванными сопротивлением переключки, соединяющей устройства. Принци-

пиальная схема конденсаторных ВМ [8] показана на рис. 1. При включении ключа K_1 происходит заряд конденсатора C от источника постоянного тока Γ , а при нажатии на кнопку K_2 происходит разряд конденсатора во взрывную магистраль.

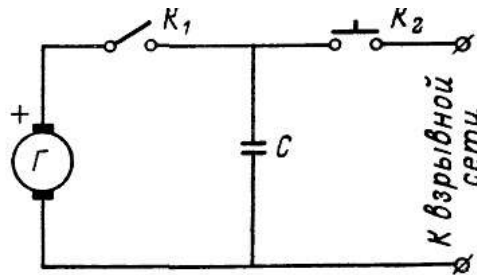


Рис. 1. Принципиальная схема конденсаторной ВМ

Изменяя напряжение на конденсаторе C получим характеристики разряда конденсаторной ВМ ПИВ-100М, которые приведены на рис. 2:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1)$$

где U_0 – напряжение заряженного конденсатора ВМ,
 t – время разряда конденсатора,
 τ – постоянная времени разряда конденсатора.

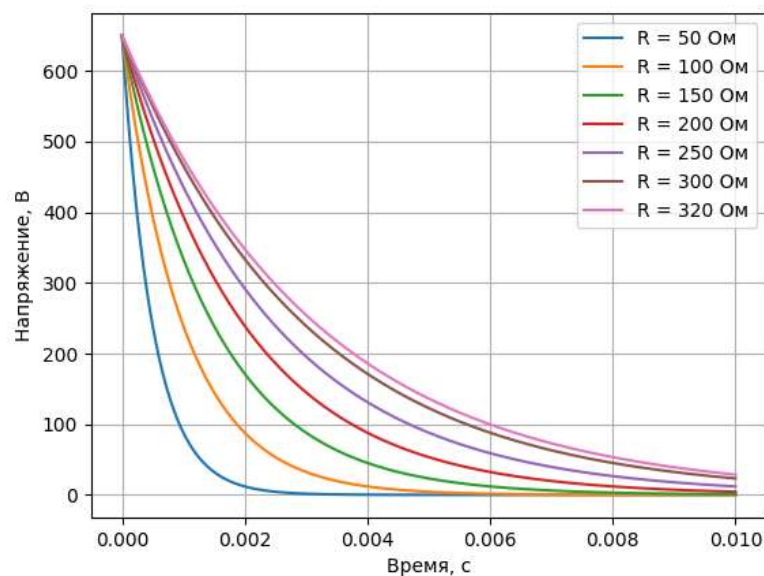


Рис. 2. Характеристики разряда конденсатора ВМ ПИВ-100М

Зададимся τ для «наихудшего» случая, когда сопротивление взрывной магистрали $R = 320$ Ом, а емкость C – из паспорта на ВМ [9].

Тогда $\tau = R \cdot C = 320 \cdot 10 = 3,2$ мс.

Полное время t разряда конденсатора C составляет: $t = (3 \dots 5) \cdot \tau \approx 10$ мс. При переходе от измерения напряжения U_0 на выходе ВМ к измерению тока I разделим обе части уравнения на R , получим:

$$I = \frac{U_0}{R} \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}. \quad (2)$$

Импульс тока, отдаваемый конденсатором ВМ, определяется:

$$K = \int_0^t I^2 dt. \quad (3)$$

Подставив выражение (2) в (3), получим:

$$K = \int_0^t \left(\frac{U_0}{R} \cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \right)^2 dt = \frac{U_0^2}{R^2} \cdot \left[\frac{-\tau}{2} \cdot e^{\frac{-2t}{\tau}} \right]_0^t. \quad (4)$$

Подставив пределы интегрирования, получим расчетную формулу (4) для определения величины импульса тока за время t :

$$K = \frac{U_0^2 \cdot C}{2R} \cdot \left(1 - e^{\frac{-2t}{\tau}} \right) = \frac{650^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \Phi}{2 \cdot 100 \text{ Ом}} \cdot \left(1 - e^{\frac{-2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ с}}{100 \text{ Ом} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \Phi}} \right) = 21,125 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}. \quad (5)$$

Расчетные характеристики разряда конденсаторной ВМ, как показано в [10], будут отличаться от полученных реально вследствие старения конденсатора-накопителя ВМ и «дребезга» контактов при замыкании ключа ВМ, свидетельствующие о необходимости проведения дополнительных исследований ВМ в лабораторных условиях.

В соответствии с [11] граничные значения параметров взрывного импульса характеризуются номинальными параметрами наиболее распространенной ВМ ПИВ-100М, для которой величина импульса тока за время разряда конденсатора 3,2 мс может достигать $3 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$, что обуславливает применение силовых коммутационных электронных компонентов в структуре ПКВИ [12].

При отсутствии обратной связи микросхема операционного усилителя (ОУ) имеет определенное входное сопротивление $R_{вх}$, значение которого, в зависимости от типа усилителя, лежит в пределах от 10 кОм до 1МОм. Влияние обратной связи в неинвертирующем усилителе приводит к увеличению $R_{вхОУ}$, так как по отношению к входу имеет место отрицательная обратная связь [13].

Схема измерительного тракта прибора приведена на рис. 3.

Входное напряжение на неинвертирующем входе ОУ определяется:

$$U_{вх} = \frac{U_{вых} \cdot R_1}{R_1 + R_{ос}}. \quad (6)$$

Выходное напряжение усилительного каскада определяется:

$$U_{вых} = \frac{U_{вх} \cdot (R_1 + R_{ос})}{R_1}. \quad (7)$$

Коэффициент усиления, исходя из (6) и (7), определяется:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{R_1 + R_{ос}}{R_1}. \quad (8)$$

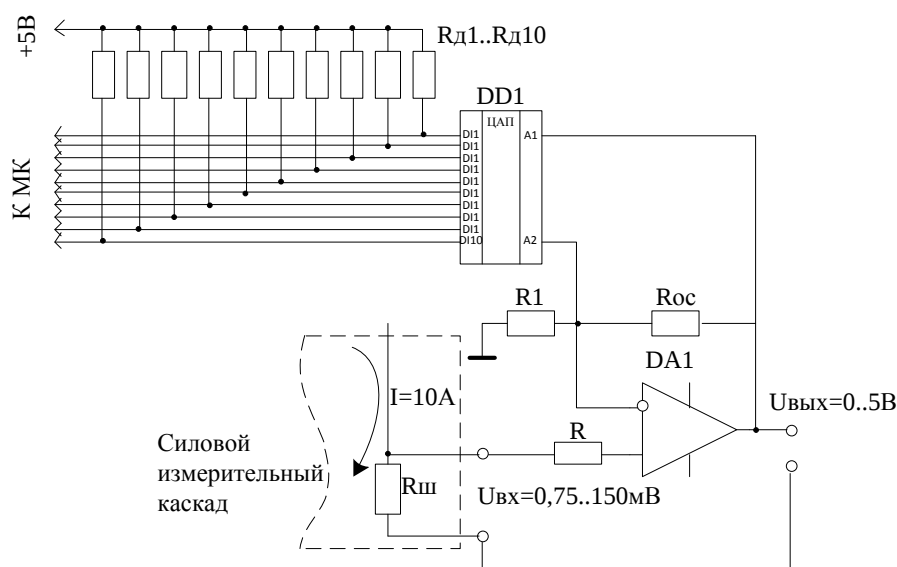


Рис. 3. Схема измерительного тракта ПКВИ

Для уменьшения смещения нуля ОУ, вызванного уменьшением выходного сопротивления вследствие отрицательной обратной связи по напряжению, подсоединяем дополнительный резистор R . Его величина

выбирается из условия $R + r_{вн.ОУ} = R_1 \parallel R_{ос}$.

ПКВИ измеряет импульсы тока ВМ. В качестве измерительного элемента используется сопротивление шунта $R_{ш}$ 75ШСМ-10, предел основной относительной погрешности которого $\pm 0,5\%$.

Настройка и калибровка измерительного тракта ПКВИ в режиме постоянного тока определяется настройкой коэффициента усиления ОУ DA1 при разном напряжении на выходе ЦАП DD1 (коэффициент аттенюации).

Коэффициент передачи шунта составляет 10 А/75 мВ. Ток синхронизации или старта оцифровки импульса составляет от 50 до 100 мА, а ток менее 100 мА можно не учитывать в расчетах. При значении тока 100 мА напряжение на шунте составит 0,75 мВ. Для выбранного неинвертирующего ОУ такое значение может привести к ухудшению линейности усиления, поскольку микросхема работает в режиме однополярного питания. Значение максимального импульсного тока составляет 20 А, что соответствует напряжению на шунте 150 мВ.

Для получения максимальной разрешающей способности АЦП необходимо, чтобы при измерении напряжения на шунте в диапазоне от 0,75 до 150 мВ напряжение на входе АЦП было не более 5 В, что достигается ОУ с программируемым коэффициентом усиления. Коэффициент усиления DA1 определяется сопротивлением шунта, резисторами R , R_1 , $R_{ос}$ и эквивалентным сопротивлением матрицы резисторов ЦАП DD1 в зависимости от кода на его входах. Таким образом, калибровка напряжения на входе АЦП выполняется подбором резисторов обратной связи при минимальном коэффициенте аттенюации.

Абсолютная погрешность ΔX определялась из соотношения:

$$\Delta X = |X_{изм} - X_d|, \quad (9)$$

где $X_{изм}$ – измеренное значение параметра,
 X_d – действительное значение параметра,
а относительная погрешность δ :

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{изм}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

В табл. 1 приведены данные, полученные в ходе исследований [14], и погрешности канала АЦП.

Настройка измерительного тракта прибора позволила получить относительную погрешность тракта, не превышающую 0,257%.

Таблица 1

Погрешности АЦП

$U_{вх}$, мВ	$U_{вых}$, В	код ЦАП	код АЦП, бит	$U_{АЦП}$, В	ΔX , В	δ , %
25,0	4,998	3FF	4089	5,001	0,003	0,056
23,9	4,842	3FE	3961	4,845	0,003	0,054
20,0	4,064	3FF	3325	4,067	0,003	0,066
14,8	3,018	3FF	2468	3,019	0,001	0,033
9,8	2,013	3FF	1644	2,011	0,002	0,119
4,8	1,014	3FF	827	1,011	0,003	0,257
2,7	0,603	3FF	494	0,604	0,001	0,116

Уточненные критерий разрыва и «дребезга» импульса, определяемый временем не менее 0,6 мс плавления мостика и максимальным током невоспламенения 0,2А для ЭД короткозамедленного действия, а также минимальный воспламеняющий ток 0,87 А позволили повысить точность оценки параметров, характеризующих неисправное состояние ВМ.

Параметры импульсов, относительная погрешность, полученная в результате измерений, приведены в табл. 2, где t_i – время импульса тока i -го измерения в выборке, E_i – величина импульса тока i -го измерения в выборке, δ_{ti} – относительная погрешность длительности импульса i -го измерения в выборке, δ_{Ei} – относительная погрешность величины импульса i -го измерения в выборке.

Погрешность измерения длительности импульса тока и его величины не превышает 1% (табл. 2). Исключением являются импульсы, длительностью менее 0,5 мс, погрешность которых составляет 2%. Причиной роста погрешности является шаг дискретизации АЦП, составляющий 17,25 мкс. Увеличивая частоту дискретизации можно уменьшить погрешность. В результате выполнения совместной работы ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» и ГБУ «МАКНИИ» проведены испытания экспериментального образца ПКВИ 23, внешний вид которого приведен на рис. 4.

Оценка точности измерений определяется погрешностью измерений длительности импульса и импульса тока ПКВИ.

Относительная погрешность рассчитана по формулам (9) и (10).

Максимальная относительная погрешность, полученная при измерении величины и длительности импульса ПКВИ, не превышает 2,9%.

Таблица 2

Результаты проверки ПКВИ-23 по «тестовым последовательностям»

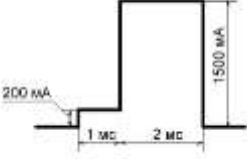
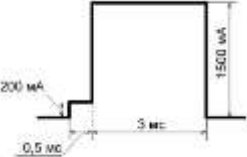
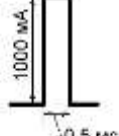
Тестовый импульс			ПКВИ-23			Относительная погрешность	
Внешний вид	t_i^* , мс	E_i^* , А ² мс	Результаты проверки	t_i , мс	E_i , А ² мс	δ_{ti} , %	δ_{Ei} , %
	3	3,2	«ГОДЕН»	3,03	3,22	1	0,94
	2	4,5	«НЕГОДЕН»	1,99	4,48	0,5	0,44
	3	6,75	«ГОДЕН»	3	6,75	0	0
	4,1	4,96	«НЕГОДЕН»	4,1	4,96	0	0
	0,5	0,5	«НЕГОДЕН»	0,51	0,51	2	2



Рис. 4. Внешний вид экспериментального образца ПКВИ-23

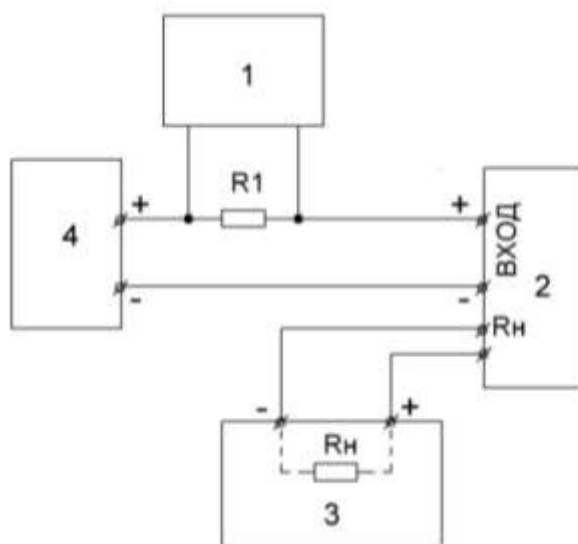


Рис. 5. Схема испытаний экспериментального образца ПКВИ:

1 – осциллограф TDS 2022 В; 2 – «КОПЕР-1»; 3 – «ПКВИ-23»;

4 – ВМ ПИВ-100 или ВП-50; R1 – токовый шунт

Структурная схема опытного образца ПКВИ-2503 разработана с учетом замены импортных электронных компонентов отечественными (рис. 6).

В схеме ПКВИ-25 произведены следующие изменения:

- увеличено количество силовых каскадов с 4 до 6;
- транзисторы ф. INFINEON и STMicroelectronics заменены отечественными, производства АО «ФЗМТ» и НПП «Завод Искра»;
- нагрузочные резисторы ф. Yageo заменены отечественными, производства АО «НПО «Эркон»;

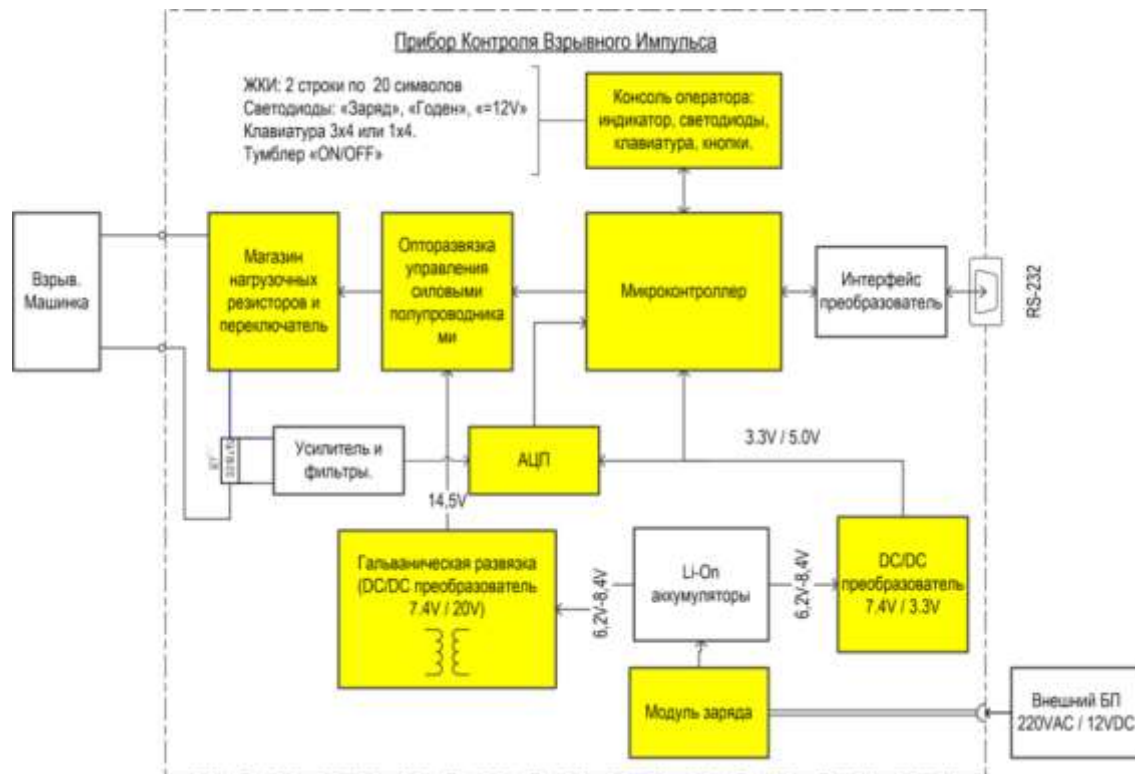


Рис. 6. Структурная схема ПКВИ

– транзисторная оптопара ф. Vishay заменена отечественной, производства АО «ПРОТОН»;

– 8-разрядный микроконтроллер ф. Atmel заменен отечественным 32-разрядным производства АО «ПКК «Миландр» (результаты сравнительного анализа микроконтроллеров приведены в табл. 3);

Таблица 3

Параметры микроконтроллеров

Параметр микроконтроллера	Микроконтроллер	
	ATMega128-16AU	K1986BE92F1I
1	2	3
Разрядность, бит	8	32
Ядро	AVR RISC	ARM Cortex-M3
FLASH, кБ	128	128
Таймер 16 бит, шт.	1	3
ОЗУ, кБ	4	32
USER IO	53	43

Окончание таблицы 3

1	2	3
Наличие аппаратного USB	-	+
USART, шт.	1	2
CAN, шт.	-	2
SPI, шт.	1	2
I2C, шт.	1 (TWI)	2
АЦП	8 каналов 10 бит	16 каналов 12 бит
ЦАП	-	12 разрядный
Питание, В	2,7..5,5	2,2..3,6
Частота, МГц	16	80
Корпус	TQFP 14x14x1 (шаг 0,8)	QFN64 9x9x0,75 (шаг 0,5)
Температурный диапазон, °С	от – 40 до +85	от – 60 до +125

- внешний АЦП ф. Microchip заменен внутренним АЦП отечественным микроконтроллером производства АО «ПКК «Миландр»;
- жидкокристаллический индикатор ф. Winstar заменен отечественным жидкокристаллическим индикатором фирмы МЭЛТ;
- светодиоды ф. Kingbright заменены светодиодами ф. АО «Протон»;
- линейку маломощных импортных резисторов предлагается заменить резисторами ф. АО «НПО «Эркон»;
- перевод «потребителей» схемы с напряжения 5,0 В на 3,3 В позволит улучшить энергоэффективность работы всего устройства.

Для оценки работоспособности разработана и изготовлена отладочная плата для работы с отечественным микроконтроллером K1986BE92F1I. Внешний вид отладочной платы с визуализацией параметров приведен на рис. 7. Изготовленная отладочная плата позволила проверить: качество изготовления печатной платы и монтажа электронных компонентов; работу микроконтроллера на частоте 80 МГц; работу АЦП; генерацию сигнала широтно-импульсной модуляции.

Испытания отладочной платы показали возможность использования микросхемы K1986BE92F1I в ПКВИ - 25. Таким образом, замена импортной элементной базы ПКВИ на отечественную возможна. Исключением являются узлы заряда Li-ion АКБ и преобразования интерфейса UART в USB.



Рис. 7. Отладочная плата для микроконтроллера K1986BE92F11

ВЫВОДЫ

Применение в разработанном приборе новых схемотехнических решений, основанных на современной элементной базе и специального алгоритма его работы, позволило повысить точность измерения параметров взрывного импульса ($\pm 3\%$), увеличить время непрерывной работы (до 20 часов), реализовать самодиагностику исправности и расширенную индикацию режимов работы прибора, а также обеспечить возможность хранения измеренных данных для дальнейшего их анализа (обработки).

В результате теоретических (путем моделирования) и экспериментальных (на макетах) исследований узлов искрозащиты разработана их принципиальная схема и обоснованы параметры взрывобезопасности разрабатываемого ПКВИ.

При создании опытного образца ПКВИ-25 предложено заменить многие узлы отечественной элементной базой. Однако окончательное решение замены импортной элементной базы на отечественную должно исходить из экономической целесообразности.

Для организации серийного производства ПКВИ институтом ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» разработана конструкторская документация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФНиП Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения: утв. Прика-

зом Ростехнадзора № 494 от 03.12.2020 г.).

2. Прибор контроля взрывного импульса, как средство повышения эффективности и безопасности ведения буровзрывных работ / А.Ю. Карповский, С.В. Свистельник, Р.С. Шевченко, А.Ю. Гладков А.Ю. // О путях и методах повышения производительности и эффективности использования оборудования в (горной) промышленности: Материалы круглого стола ГБУ «НИИВЭ» 29 мая 2025 г.

3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». – Москва: ТНЦ ПБ, 2017. – 187 с.

4. Структура прибора контроля взрывного импульса для угольных шахт / С.В. Свистельник, В.Н. Сирченко, С.Н. Андрусенко, А.Ю. Карповский // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Материалы круглого стола ГУ «МАКНИИ» 2024 г.

5. Разработать экспериментальный образец и техническое задание на опытный образец прибора контроля взрывного импульса для угольных шахт: отчет о НИР (промежуточ.) / ГУ «МАКНИИ»; рук. Гладков А.Ю.; исполн.: Варовой С.Ю. [и др.]. – Макеевка, 2023. – 111 с.

6. ГОСТ 12.2.059–81. Система стандартов безопасности труда. Приборы электровзрывания рудничные. Требования безопасности: Государственный стандарт СССР: дата введения 1983- 01-01. – Изд. официальное. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 6 с.

7. ГОСТ 21806-76. Электродетонаторы предохранительные короткозамедленного действия. Технические условия: Государственный стандарт СССР: дата введения 1977- 07-01. – Изд. официальное. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 36 с.

8. Лурье, А. И. Электрическое взрывание зарядов / А. И. Лурье. – изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Недра, 1973. – 272 с.

9. Кирюшина, Е. В. Технология и безопасность взрывных работ: учеб. пособие / Е. В. Кирюшина, В. Н. Вокин, М. Ю. Кадеров. — Красноярск : СФУ, 2018. – 236 с.

10. Анализ исходных данных для разработки прибора контроля взрывного импульса для угольных шахт / С.В. Свистельник, В.Н. Сирченко, А.Ю. Карповский, А.Ю. Гладков // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: сб. науч. тр. XXIV междунар. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов 28-30 мая 2024 г. – Донецк : ДонНТУ, 2024. – 215 с.

11. Разработать конструктивные, схемотехнические решения, программное обеспечение экспериментального образца и предложения в техническое задание на опытный образец прибора контроля взрывного импульса для угольных шахт: информационные материалы: 5-28 / ГУ «Авто-

матгормаш им. В.А. Антипова»; рук. Курносов В.Г.; исполн.: Сирченко В.Н. [и др]. – № ГР 0123D000016. – Инв. № 0/47. Донецк, 2023. – 58с.

12. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства / В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков [и др.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.

13. Разработать конструктивные, схемотехнические решения, программное обеспечение экспериментального образца и предложения в техническое задание на опытный образец прибора контроля взрывного импульса для угольных шахт: отчет заключительный / ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова»; рук. Курносов В.Г.; исполн.: Сирченко В.Н. [и др]. – Донецк, 2024. – Инв. № 0/47. – 62 с.

14. Разработать экспериментальный образец и техническое задание на опытный образец прибора контроля взрывного импульса для угольных шахт: отчет о НИР (заключит.) / МакНИИ; рук. Гладков А.Ю.; исполн.: Варовой С.Ю. [и др]. – Макеевка, 2024. – Инв. № 4944. – 286с.

Получено: 15.08.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Диденко В.В.

UDC 53.082.722.4

A.Y. KARPOVSKIY, head of department,

S.V. SVISTELNIK, leading engineer;

A.V. GRECHANOVSKIY, programming supervisor

S.V. SHASHKOVA, design engineer;GBU Avtomatgormash

im. V. A. Antipova, Donetsk;

**A.Y. GLADKOV, Ph. Dr. Eng., head of laboratory; GBU MAKNIИ,
Makeyevka**

A DEVICE FOR EXPLOSIVE PULSE CONTROL FOR COAL MINES

The device for explosive pulse control under development will enable the testing of blasting units used in gas-hazardous and coal dust-hazardous mines which will further the safety of drilling and blasting.

Keywords: device, explosive pulse, bench tests, adjustment, phase-out of imports, evaluation board.

УДК 621.317:622

А.Ю. КАРПОВСКИЙ, зав. отд.,
Д.А. ЛИЩИЦЫН, главный конструктор проекта,
С.В. СВИСТЕЛЬНИК, ведущий инж.; ГБУ «Автоматгормаш
им. В.А. Антипова», г. Донецк;
В.В. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
А.Ю. ГЛАДКОВ, канд. техн. наук, зав. лаб.; ГБУ «МАКНИИ»,
г. Макеевка

ОБ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Проанализированы существующие средства для обнаружения аварийных режимов работы рудничного электрооборудования – короткого замыкания и утечки тока на землю. Определены направления совершенствования устройств для защиты шахтных электрических сетей напряжением 3300 В с изолированной нейтралью.

Ключевые слова: токи утечки и короткого замыкания, комбайн, средства защиты.

Введение санкций, снижение цен на уголь, утрата части рынков сбыта и замедление экономического роста основных экспортеров российского угля, а также логистические сложности оказали негативное влияние на угольную отрасль. Однако не существует альтернативных ресурсов, способных полностью заменить уголь.

Для шахт и рудников используется трехфазный переменный ток напряжением от 127 В до 1140 В при частоте 50 Гц. Анализ эксплуатационных характеристик импортного электрооборудования, функционирующего при напряжении 3000 (3300) В, показал его преимущества по сравнению с оборудованием, использующим напряжение до 1200 В. Таким образом, применение напряжения 3000 (3300) В открывает новые возможности для использования в горнодобывающей промышленности оборудования с большей энерговооруженностью, включая очистные комбайны, бункерные перегружатели и большегрузные самоходные вагоны. Это способствует снижению потерь электроэнергии, увеличению мощности, передаваемой потребителям, и повышению эффективности угледобывающих процессов.

Зарубежные комбайны, работающие при напряжении 3000 (3300) В, эксплуатируемые в России: 7LS6, ф. JOY, США; SL-300, SL-500, SL-900 ф. Eickhoff, Германия; EL-3000, ф. DBT, Германия; KSW 1140E, ф. FUMUZ,

Польша показали высокий уровень угледобычи. Но в условиях санкций возникла проблема в приобретении этой техники, гарантийного и постгарантийного обслуживания, поставок запасных частей.

В 2024 году ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» начало разработку очистного комбайна КДК1000, предназначенного для отработки пологонаклонных пластов мощностью от 2,5 до 5,5 метров. Комбайн будет оснащен суммарной установленной мощностью в 1435 кВт, энерговооруженность каждого блока резания 2х550 кВт. Номинальное напряжение питающей сети составит 3300 В, что существенно изменит активные и реактивные параметры силовых кабелей. В связи с этим актуальна разработка эффективной защиты для шахтной участковой электрической сети с изолированной нейтралью [1].

Цель работы – определение перспективных направлений развития устройств для защиты шахтного электрооборудования участковой электрической сети напряжением 3300 В с изолированной нейтралью.

В настоящее время в угольных шахтах используется следующая аппаратура защиты от токов утечки:

- устройство автоматического контроля изоляции УАКИ-Э;
- блокировочные реле утечки БРУ, БРУ-127/220Т;
- аппараты защиты от токов утечки унифицированные рудничные АЗУР.1(М/МК), АЗУР.3, АЗУР.4, АЗУР.4МК, АЗУР.4ПП, АЗУР.5;
- реле утечки РУ-МД127/220, РУ-127/220МК, РУ-380.1М, РУ-380/660, РУ-1140;
- аппарат общесетевой защиты от утечек тока на землю АЗО-3.

Основные параметры средств защиты от токов утечки приведены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показал, что только аппараты АЗО-3 [2] и АЗУР.5 рассчитаны для эксплуатации в обособленных кабельных сетях напряжением 3,0 кВ и 3,3 кВ.

В соответствии с [3] устройства защиты должны иметь такие характеристики, чтобы при прикосновении человека к фазе сети количество электричества через его тело не превышало 50 мКл.

Количество электричества определяется по формуле:

$$q = \int_{t_2}^{t_1} I(t) dt,$$

где $I(t)$ – ток, проходящий через тело человека;

t_1 – время начала воздействия тока на человека (момент прикосновения);

t_2 – время конца воздействия тока на человека (момент срабатывания

защитного отключения).

Таблица 1

Параметры средств защиты от токов утечки

Наименование	Напряжение защищаемой сети, В	Сопротивление сраба- тывания при возникно- вении однофазной утечки на землю, кОм, не более	Сопротивление сраба- тывания при возникно- вении симметричной трехфазной утечки на землю, кОм, не менее	Собственное время срабатывания, с, не более
1	2	3	4	5
УАКИ-Э	127/220/380	8/10/12	24/30/36	0,1/0,1/0,1
1	2	3	4	5
БРУ	127/220	3,3/6,8	10/20	0,1/0,1
БРУ-127/220Т	127/220	10/20	3,3/10	0,1/0,1
АЗУР.1, АЗУР.3	380/660	15/20, 12/20	10/30	0,1/0,1
АЗУР.4МК	380/660/1140	12/20/50	10/30/60	0,1/0,1/0,07
АЗУР.4ПП	660/1140	12/20/50	30/60	0,07/0,07
РУ-127/220	127/220	5,0/8,0	3,3/10	0,2/0,2
РУ-127/220МК	127/220	3,3/9	10/24	0,1/0,1
РУ-127/220.1М	127/220	10/12	3,3/10	0,1/0,1
РУ-380.1М	380	20	10	0,1
РУ-380/660	380/660	12/20	10/30	0,1/0,1
РУ-1140	1140	50	60	0,07
АЗО-3	3000	60	180	0,06
АЗУР.5	3300	70	90	0,05

Простейший случай контакта человека с одной из фаз электрической сети с изолированной нейтралью представлен на рисунке.

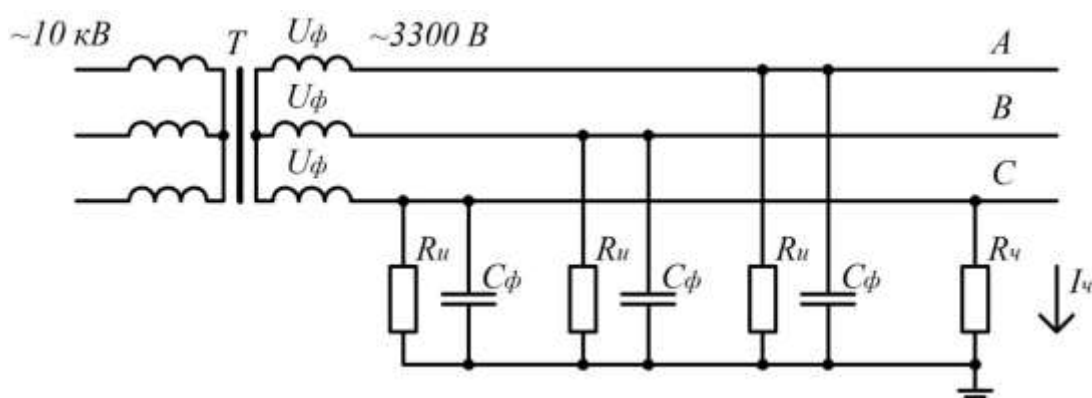


Рисунок – Схема контакта человека с одной из фаз электрической сети с изолированной нейтралью

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_u \cdot (R_u + 6 \cdot R_{\text{ч}})}{9 \cdot (1 + R_u^2 \cdot \omega^2 \cdot C_{\phi}^2) \cdot R_{\text{ч}}^2}}},$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В;

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом;

R_u – активное сопротивление изоляции сети относительно земли, Ом;

ω – угловая частота, 1/с;

C_{ϕ} – емкость сети относительно земли, Ф.

Ввиду того, что проходящий через тело человека электрический ток, имеет синусоидальную форму, его количество зависит не только от продолжительности контакта, но и от конкретного момента прикосновения. В связи с этим, при увеличении напряжения в электрической сети необходимо не только сокращать продолжительность воздействия электрического тока на человека, но и учитывать момент прикосновения.

Собственное время срабатывания аппарата защиты АЗО-3 при сопротивлении однофазной утечки 1,0 кОм и емкости сети от 0 до 1,0 мкФ на фазу составляет не более 60 мс, а АЗУР.5 – 50 мс. Совместно с вакуумными выключателями, суммарное время срабатывания системы защиты составляет приблизительно 100 мс. А в [4] показано, что без компенсации емкостного тока обеспечить параметры электробезопасности возможно в участковой сети 3300 В емкостью не более 0,38 мкФ на фазу при продолжительности воздействия тока на человека не более 80 мс.

Таким образом, время срабатывания аппаратов АЗО-3 и АЗУР.5 не гарантирует достаточный уровень электробезопасности для персонала при контакте с открытыми токоведущими частями. Кроме того, эти аппараты не обеспечивают электробезопасность в сетях емкостью выше 0,38 мкФ на

фазу, поскольку не обеспечивают компенсацию емкостной составляющей тока и шунтирование поврежденной фазы.

До начала промышленной эксплуатации аппаратов защиты от токов утечки в электроустановках с напряжением 3000 (3300) В, в процессе испытаний, в качестве временной меры, максимально допустимое общее время отключения поврежденного участка сети составляет не более 200 мс [5]. За указанное время устройство защиты от токов утечки на землю способно предотвратить нагрев изоляции питающих кабелей и пожары в шахтах, но недостаточно для защиты человека от поражения электротоком.

Для защиты от токов к. з. в угольных шахтах применяются работающие совместно с трансформаторами (датчиками) тока встраиваемые блоки:

- токовой защиты БТЗ-Т;
- максимальной токовой защиты ПМЗ;
- максимальной токовой защиты БМЗ-2;
- комплексной защиты БКЗ-Д;
- комплексной защиты БКЗ-ЗМК.

Основные параметры указанных блоков приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показал, что аппараты осуществляют защиту сетей напряжением до 1200 В за время срабатывания от 40 до 70 мс. Уменьшить время срабатывания можно за счет использования полупроводниковых силовых управляемых отключаемых устройств. Однако полупроводниковые электронные компоненты, используемые в известных блоках, не выдерживают работу при токах к. з. более 10 мс, часто выходят из строя, что является недостатком этих устройств.

Таблица 2

Параметры средств защиты от токов короткого замыкания

Наименование параметра	БТЗ-Т	ПМЗ	БМЗ-2	БКЗ-Д	БКЗ-ЗМК
	Значения параметров				
Номинальный ток защищаемого объекта, А	до 320	до 630	до 630	до 800	до 630
Собственное время срабатывания, с, не более	0,1	0,04	0,04	0,07	0,07
Диапазон регулирования уставок МТЗ	от 2 до 7 $I_{\text{НОМ.}}$	от 2 до 7 $I_{\text{НОМ.}}$	от 2 до 7 $I_{\text{НОМ.}}$	от 2 до 7 $I_{\text{НОМ.}}$	от 2 до 7 $I_{\text{НОМ.}}$

Анализ средств обнаружения аварийных режимов работы рудничного электрооборудования – токов утечки и токов к. з. – выявил следующее:

– схема аппаратуры для защиты от токов утечки, например, УАКИ-Э, РУ-1140 построена на дискретных элементах; схема АЗУР.4 – на основе интегральных, в т. ч. аналоговых микросхем, а АЗУР.1 (М/МК), БРУ, АЗУР.4МК – на основе микроконтроллеров. Таким образом, наблюдается тенденция к переходу в устройствах для защиты от токов утечки к схемным решениям на микроконтроллерах;

– в аппаратуре для защиты от токов к. з. прослеживается та же тенденция;

– аппаратура для защиты от токов утечки осуществляет функции мониторинга сопротивления изоляции, как в режиме предварительного контроля, так и в режиме оперативного мониторинга;

– аппаратура для токовой защиты выполняет функции предотвращения к. з., защиты от перегрузок, а некоторые аппараты содержат функцию предварительного мониторинга сопротивления изоляции.

Патентный поиск [6], проведенный по ключевым словам и рубрикам МПК с использованием классификационных индексов H02H3/08, H02H3/20, H02H3/24, H02H3/26, H02H3/42, H02H3/099, H02H7/08, G01R19/30, H02H3/00, H02H3/16, H02H3/17, H02H5/00, H02H5/12, G01R27/18, G01R31/08 по СССР, России, Белоруссии, Казахстану с 1985 по 2024 год, показал:

– основные технические решения направлены на усовершенствование: существующих способов и средств для защиты оборудования от токов короткого замыкания; существующих способов для защиты человека от тока утечки на землю; защитных средств для шахтных устройств напряжением выше 1000 В;

– возможность создания средств для защиты оборудования от токов короткого замыкания и токов утечки на землю в сетях напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью, используя современную отечественную элементную базу, а также схемные решения заменяющие аналоговые элементы схемотехники на цифровые

ВЫВОДЫ

В настоящее время существует недостаток специальных средств защиты для сетей напряжением 3000 (3300) В с изолированной нейтралью. Между тем, потребность в таких средствах для угольных шахт, опасных по газу и/или пыли, с учетом производства мощных добычных комбайнов и другой горной техники, становится все более актуальной.

Разработка быстродействующих средств для обнаружения аварийных режимов работы рудничного электрооборудования представляет особый интерес в контексте повышения уровня безопасности в угольных шах-

тах, учитывая тенденцию к увеличению их технической оснащенности и применению напряжения 3000 (3300) В.

В целях оптимизации технических решений целесообразно интегрировать в единую микропроцессорную систему мониторинг сопротивления изоляции и защиты от токов утечки и функцию быстродействующего обнаружения аварийных токов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типоразмерный ряд очистных комбайнов КДК с частотно-регулируемым приводом подачи для отработки угольных пластов мощностью 1,2–5,5 м / И.В. Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 5 (175). – С. 25-34.

2. Аппарат общесетевой защиты от утечек тока на землю напряжением 3 кВ АЗО-3 и напряжением 6 кВ АЗО-6 // Каталог продукции [Электронный ресурс] / НПО «Спектр». – URL: <https://ptk-kip.ru/publics/item/8908> (дата обращения 08.07.2025).

3. ГОСТ 31612-2012. Устройства защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические требования: межгосударственный стандарт: дата введения 2013-02-15. – Изд. официальное. Москва: Стандартинформ, 2013. – 16 с.

4. Определение граничных параметров емкостной составляющей токов утечки на землю, обеспечивающих электробезопасность шахтных участков сетей 3,3 кВ / А.Ю. Гладков, И.П. Горошко, В.А. Гаврилко [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / ГБУ «МАКНИИ». – 2025. – Вып. 2 (69) – С. 49-57.

5. Временная инструкция по электроснабжению и применению электрооборудования напряжением 3000 (3300) В в очистных и подготовительных выработках угольных шахт (РД 05-386-00) / Безопасность электроустановок и электрооборудования угольных шахт: сб. документов. – Москва: Гос. унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – Серия 05. – Вып. 4. – 40 с.

6. Отчет о патентных исследованиях «Провести исследования и разработать способ быстродействующего обнаружения аварийных режимов работы рудничного электрооборудования, изготовить экспериментальный образец для его реализации. Раздел. Разработать конструктивные, схемотехнические решения, программное обеспечение экспериментального образца устройства быстродействующего обнаружения аварийных режимов работы электрооборудования» по теме: «Подготовить информационные материалы по средствам защитного отключения в сетях до 3300 В. Выпол-

нить патентный поиск по средствам обнаружения аварийных режимов работы электрооборудования» (промежуточный, 1 этап). – Донецк: ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», 2024. – 38 с.

Получено: 14.07.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Диденко В.П.

UDC 621.317:622

A.Y. KARPOVSKIY, head of department,
D.A. LISITSYN, project chief designer,
S.V. SVISTELNIK, leading engineer; GBU Avtomatgormash
im. V. A. Antipova, Donetsk;
V.V. DIDENKO, Ph. Dr. Eng., senior research worker,
A.Y. GLADKOV, Ph. Dr. Eng., head of laboratory;
GBU MAKNI, Makeyevka

DEVICES FOR PROTECTION OF MINE ELECTRICAL EQUIPMENT

The analysis has been carried out of existing devices for detection of emergency operation mode of mine electrical equipment – short circuit and earth leakage current. The concepts for improvement of devices for protection of mine electrical networks with the voltage of 3300 V with unearthing system have been determined.

Keywords: leakage and short circuit currents, combined machine, protection equipment.

УДК 622:621.31

**В.П. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ»,
г. Макеевка****ОБ УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ
СТАТИЧЕСКОЙ ТОКОВОЙ ИСКРОЗАЩИТЫ В ЦЕПЯХ
ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Разработано устройство для контроля исправности статической токовой искрозащиты в цепях постоянного напряжения. Способ основан на измерении трех ключевых параметров: напряжения холостого хода, тока уставки и тока короткого замыкания источника питания. Предложенная схема реализует плавное изменение нагрузки и позволяет автоматически определить контролируемые параметры. Рассмотрены особенности контроля, его преимущества и перспективы применения на практике.

Ключевые слова: искрозащита, статическая токовая защита, контроль исправности, постоянный ток, цифровая обработка.

Электробезопасность при эксплуатации электроустановок во взрывоопасных зонах является важной задачей, для решения которой используют искробезопасные цепи, ограничивающие энергию, выделяющуюся в разряд и не вызывающую воспламенение газовой или пылевоздушной смеси. Государственные стандарты [1, 2] характеризуют цепи постоянного напряжения двумя параметрами: напряжением холостого хода (х.х.) и током короткого замыкания (к. з.). Однако, данные параметры однозначно определяют искробезопасность только простых омических цепей, искробезопасные характеристики которых имеются в упомянутых стандартах. Показано, что воспламеняющая способность разрядов в цепях с более сложной нагрузочной характеристикой может существенно отличаться [3, 4].

Классификация по принципам обеспечения искрозащиты позволила выделить в отдельный класс цепи постоянного напряжения, искробезопасность которых обеспечивается статической токовой защитой источников питания [5]. Для цепей этого класса характерна важная особенность: ток к.з. может быть как больше, так и меньше номинального тока уставки [6]. Это делает диагностику исправности искрозащиты более сложной, но не менее важной задачей. Традиционное использование лабораторных средств – регулируемых нагрузок, специализированных измерительных

приборов в условиях эксплуатации оказывается затруднительным или вообще невозможным. Поэтому актуальна разработка специализированного устройства, позволяющего контролировать исправность искрозащиты простыми средствами, непосредственно на месте ремонта или эксплуатации искробезопасного оборудования.

Цель работы – создать устройство для периодического контроля исправности статической токовой искрозащиты в цепях постоянного напряжения.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить плавное увеличение нагрузки по закону, близкому к линейному;
- разработать аппаратную платформу для высокоточной оцифровки параметров и алгоритм обработки данных в реальном времени;
- обеспечить контроль за время не более 1,5 с.

Контроль основан на трех последовательных измерениях:

- напряжения х. х. источника питания;
- тока уставки;
- тока к. з.

Плавное изменение нагрузки от х. х. до к. з. исключает динамические перегрузки и позволяет фиксировать необходимые статические параметры. Измеренные значения сопоставляют с допустимыми, служащими критерием исправности искрозащиты.

Функциональная схема устройства, показана на рис. 1. Она содержит блок питания, каналы для контроля напряжения и тока, блок для управления и обработки, дисплей. Вспомогательным элементом является кнопка SW1 («Пуск»), а цепи Input+ и GND служат для подключения к проверяемой искробезопасной цепи.

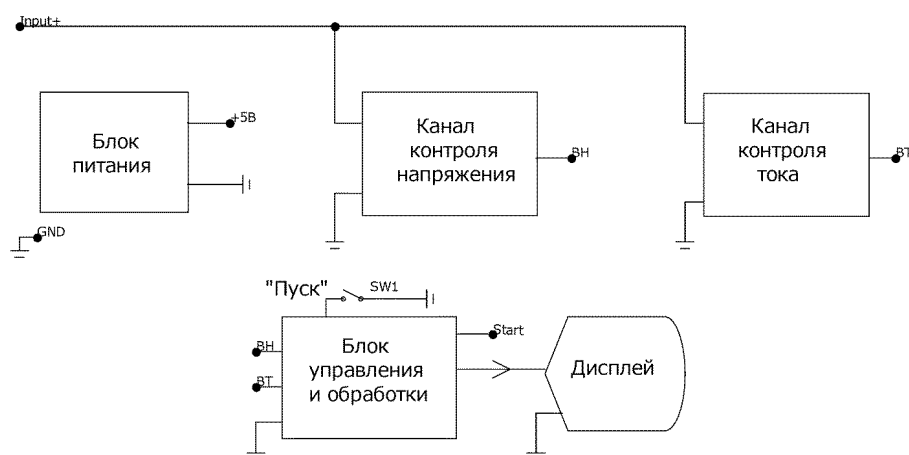


Рис. 1. Схема устройства для контроля исправности искрозащиты

Канал для контроля тока (рис. 2) состоит из двух частей. Первая часть – регулирующий каскад, содержащий операционный усилитель и транзистор. Он обеспечивает плавный рост тока нагрузки в течение, примерно, одной секунды, что гарантирует контролируемые условия эксперимента. Вторая часть – усилитель сигнала с токоизмерительного резистора. Масштабированный сигнал поступает на АЦП для цифровой обработки. Таким образом, фиксируют токи уставки и к. з.

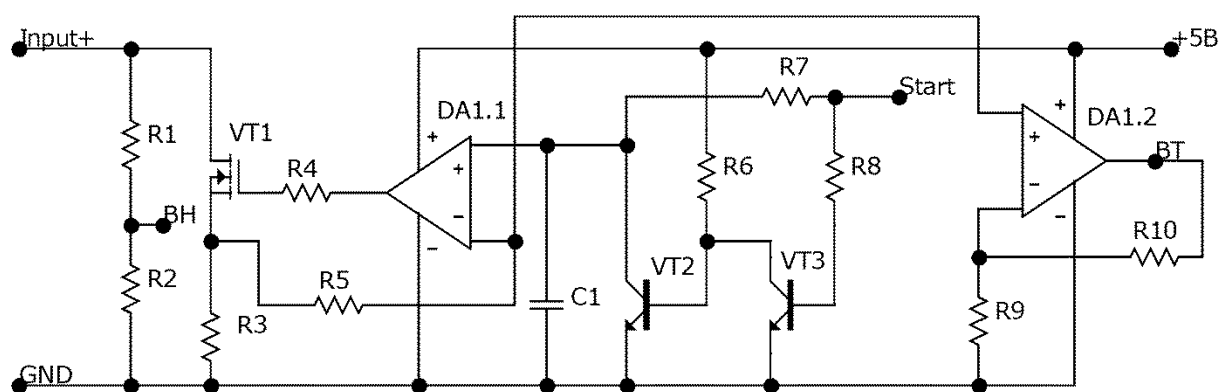


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная каналов контроля напряжения и тока

Блок питания формирует напряжение +5 В для цифровой части устройства и аналоговых цепей, обеспечивая стабильное питание всех узлов. Особое внимание уделено фильтрации и разделению питания аналоговых и цифровых цепей, что снижает уровень помех и увеличивает стабильность измерений.

Схема электрическая принципиальная блока управления и обработки (DD2) и дисплея (DD1) представлена на рис. 3. Блок управления выполнен на плате Arduino Nano с микроконтроллером ATMEGA328. Сигналы цепей ВН и ВТ поступают на аналоговые входы А0 и А1 соответственно, где оцифровываются с помощью встроенного АЦП. Кнопка SW1 («Пуск») подключена к цифровому входу D2 (нулевое прерывание), через который контроллер получает сигнал для запуска проверки.

Микроконтроллер выполняет оцифровку сигналов, управление процессом измерений и отображение результатов. Дисплей ST7735 с интерфейсом SPI получает информацию от микроконтроллера и обеспечивает наглядное ее представление: напряжение х. х., токов уставки и к. з.

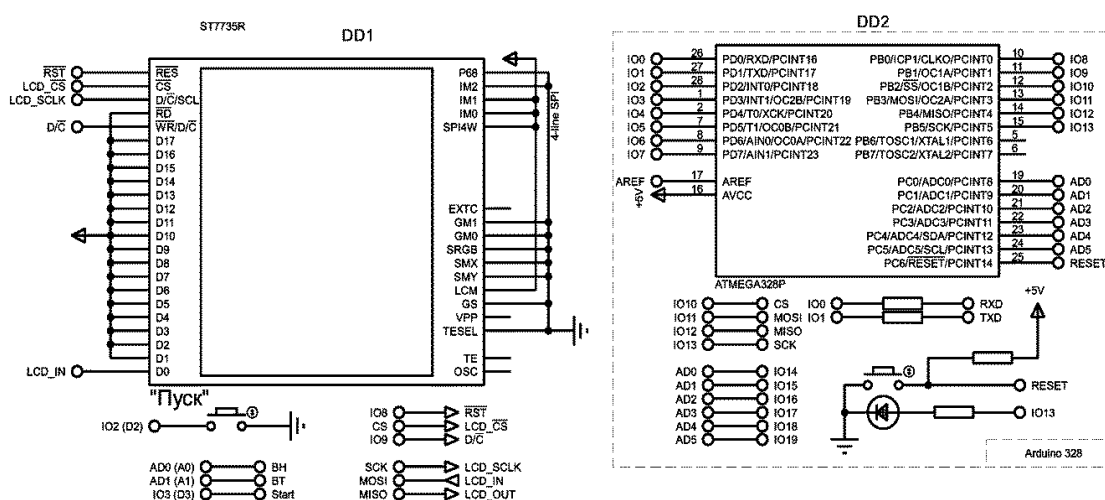


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная блока для управления и обработки и дисплея

Алгоритм работы устройства можно описать следующим образом:

- подключение устройства к проверяемой цепи;
- нажатие кнопки «Пуск» пользователем;
- измерение напряжения х.х. (8 выборок с усреднением);
- подача сигнала формирования плавной нагрузки и нарастание тока в течение порядка одной секунды;
- выполнение необходимого количества выборок тока за время его нарастания;
- определение максимального зафиксированного тока уставки;
- фиксация конечного значения тока к з;
- отображение всех параметров на дисплее.

Измерения осуществляют не более чем за 1,5 секунды.

Разработанное устройство имеет ряд ключевых особенностей:

- плавное изменение нагрузки позволяет имитировать реальные условия без бросков тока;
- автоматизация процесса исключает необходимость ручной регулировки и использования дополнительного оборудования;
- измерения в течение не более 1,5 секунды, делает прибор практичным в эксплуатации.

Сравнивая с традиционными методами проверки [1, 2], можно выделить преимущества предлагаемого способа. В лабораторных условиях оператор обычно использует регулируемые реостаты или электронные нагрузки, однако они требуют громоздкого оборудования и высокой квалификации персонала. Предлагаемое устройство компактно и не требует специальных навыков работы.

Отдельно следует отметить стоимостный аспект: все использованные компоненты – микросхемы LM358, контроллер Arduino Nano, дисплей ST7735 – относятся к доступным. Это делает устройство пригодным для серийного производства и внедрения на практике.

Перспективным направлением развития конструкции устройства может стать реализация адаптивного анализа сигнала, автоматическая запись в устройство памяти или интеграция с сетевой системой мониторинга.

Токи уставки и к. з. отражают реальную способность проверяемого источника отдать энергию, как при нормальной работе, так и в условиях аварии.

Соотношение измеренных параметров и допустимых является индикатором исправности искрозащиты.

Если ток уставки в процессе эксплуатации снизился, возможно ложное ограничение работы цепи. Если ток к. з. превышает допустимые значения, искрозащита может оказаться недостаточной.

Таким образом, методика проверки, реализованная в устройстве, имеет четкое теоретическое обоснование и позволяет выявлять отклонения, которые в реальных условиях могут представлять угрозу.

1. Простота реализации – не требуется сложных нагрузочных стендов.

Повторяемость результатов – условия испытаний одинаковы при каждом запуске.

Исключение риска повреждения проверяемой цепи – плавное изменение нагрузки исключает броски тока.

ВЫВОДЫ

Предложенное устройство для контроля исправности статической токовой искрозащиты в цепях постоянного напряжения реализует способ плавного изменения тока нагрузки и позволяет определить напряжение холостого хода, ток уставки и ток короткого замыкания. Автоматизация процесса, цифровая обработка и вывод результатов на дисплей делают прибор удобным, быстродействующим и информативным. Устройство сочетает простоту реализации, низкую себестоимость и может использоваться как в промышленности, так и в исследовательских и учебных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 22782.5-78. Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь». Технические

требования и методы испытаний: Государственный стандарт СССР: дата введения 1980-01-01. / Государственный комитет по стандартам. – Изд. официальное. – Москва: Стандартиздат, 1982. – 70 с.

2. ГОСТ 31610.10-2014 (IEC 60079-11:2011). Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i»: межгосударственный стандарт: дата введения 2016-12-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 120 с.

3. Коган Э. Г. Способы и средства обеспечения искробезопасности рудничного электрооборудования / Э. Г. Коган. – Москва: Недра, 1988. – 101 с.

4. Ерыгин А. Т., Шатило А. Н., Спасов М. С. Разработка расчетного метода оценки искробезопасности барьеров безопасности на стабилизаторах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 8. С. 349-353 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-raschetnogo-metoda-otsenki-iskrobezopasnosti-barierov-bezopasnosti-na-stabilitronah/viewer> (дата обращения: 10.08.2025).

5. Диденко В. П. Определение принципов построения искрозащиты горно-шахтного электрооборудования / В. П. Диденко // Создание безопасных и прогрессивных технологий и оборудования для промышленности: материалы круглого стола, 10 дек. 2024 г. – Донецк, ГБУ «ДонУГИ». – С. 14-16.

6. Диденко В. П. Совершенствование способов и средств обеспечения искробезопасности взрывозащищенного электрооборудования / В. П. Диденко, Ю. В. Кудинов, Ю. Ф. Булгаков // Проблемы горного давления: сб. науч. тр. / ДНТУ. – 2016. – № 4(31). – С. 26-48.

Получено: 21.08.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Демченко О.А.

UDC 622:621.31

**V.P. DIDENKO, Ph. D. Eng., senior research worker; GBU MAKNIИ,
Makeyevka**

A DEVICE FOR STATUS MONITORING OF STATIC CURRENT SPARK PROTECTION IN DIRECT VOLTAGE CIRCUITS

A device for status monitoring of static current spark protection in direct voltage circuits has been developed. This method is based on the measurements

of three keyword parameters: open-circuit voltage, setting current and short circuit current of a power source. The suggested circuit design realizes gradual load change and enables the autodetection of control parameters. The specific features of control as well as its advantages and the prospects of practical application have been considered.

Keywords: spark protection, static current protection, status monitoring, direct current, digital processing.

УДК 622:621.31**В.П. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ»,
г. Макеевка**

О КОНТРОЛЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИСКРОЗАЩИТЫ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Представлены принципы построения устройства для контроля работоспособности искрозащиты в цепях переменного напряжения, реализующего оценку параметров выходной цепи источника путем измерения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания. Устройство обеспечивает цифровую обработку сигналов, вычисление амплитудных и действующих значений параметров, а также оценку формы сигнала.

Ключевые слова: искрозащита, контроль исправности, переменное напряжение, цифровая обработка, искробезопасная электрическая цепь.

Искробезопасность электрических цепей является наиболее эффективным видом взрывозащиты слаботочных электрических цепей горно-шахтного электрооборудования и позволяет достичь наиболее высокого уровня – особовзрывобезопасный, а также проводить обслуживание оборудования в условиях эксплуатации без отключения электрической энергии.

В последние десятилетия 90-х и в начале 2000-х годов искробезопасные цепи переменного напряжения использовались в горно-шахтном электрооборудовании благодаря успешным работам Когана Э. Г. [1]. Совершенствование способов и средств обеспечения искробезопасности цепей постоянного тока привело к их практическому доминированию вследствие простоты и эффективности. Среди искробезопасных электрических цепей переменного напряжения промышленной частоты наиболее распространенными являются цепи, искробезопасность которых обеспечивается токоограничительными резисторами. Их широкое применение в горно-шахтном электрооборудовании – это традиционные цепи дистанционного управления электрическими аппаратами. Периодический контроль исправности искрозащиты таких цепей должен быть простым и надежным, поэтому разработка устройства для контроля.

Целью работы является разработка устройства для контроля исправности искрозащиты в цепях переменного напряжения, использующего

прямое измерение параметров выходной цепи с последующей цифровой обработкой и выводом результата.

Государственные стандарты [2; 3], определяющие технические требования и методы испытаний взрывозащиты вида «искробезопасная электрическая цепь», регламентируют для цепей переменного напряжения промышленной частоты контролировать только амплитудные значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания.

Исследования [4; 5] показали, что искробезопасность цепей переменного напряжения промышленной частоты, искрозащита которых обеспечивается последовательно включенными резисторами, определяется не только амплитудными значениями напряжения холостого хода и тока короткого замыкания, но также формой и фазой питающего напряжения в момент возникновения электрического разряда. Для учета данного фактора предлагается при контроле исправности искрозащиты дополнительно определять действующие значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания и отношение между полученными амплитудными и действующими значениями. Измеренные величины параметров должны соответствовать допустимым значениям, а величины отношений позволят судить о форме питающего напряжения.

Способ для контроля исправности искрозащиты основан на измерении двух параметров: напряжения холостого хода и тока короткого замыкания выходной цепи источника. Для каждого параметра определяются амплитудные и действующие значения, а также их отношение. Исправность искрозащиты определяется соответствием всех измеренных параметров их допустимым диапазонам.

Для реализации способа устройство должно включать два аналоговых канала обработки сигналов: один для напряжения холостого хода, другой для тока короткого замыкания. Эти сигналы оцифровываются и подвергаются цифровой обработке для получения амплитудных и действующих значений. Отношение между напряжением и током позволяет рассчитать сопротивление проверяемой цепи и сравнить его с допустимым. Результаты измерений выводятся на дисплей для анализа.

Функциональная схема устройства представлена на рис. 1. Она содержит блок питания, прецизионные выпрямители напряжения и тока, блок для управления и обработки, а также дисплей. Вспомогательные элементы – кнопка SW1(пуск) и реле SW2 – обеспечивают управление процессом проверки. Цепи Input и GND служат для подключения устройства к проверяемой искробезопасной цепи.

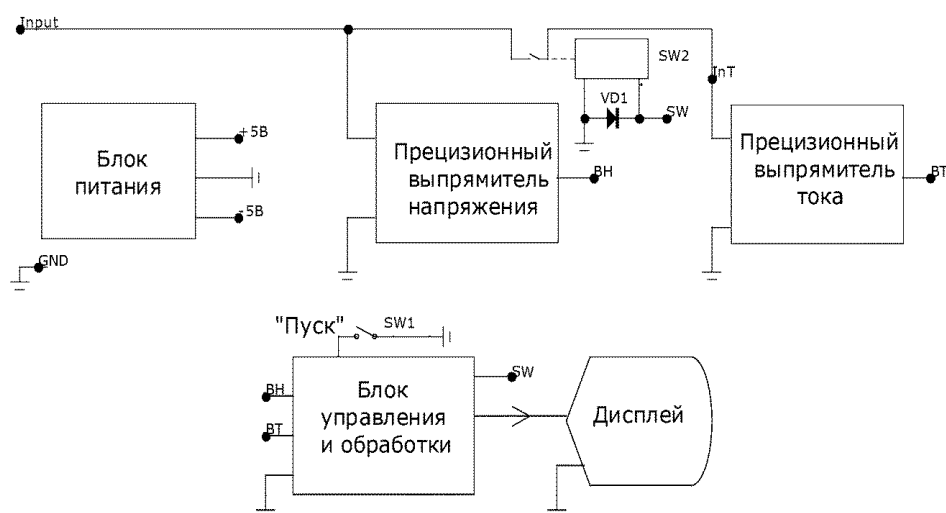


Рис.1. Схема функциональная устройства контроля
исправности искрозащиты цепей переменного напряжения

Блок питания формирует симметричное напряжение ± 5 В для аналоговых цепей и +5 В для цифровой части устройства, минимизирующее помехи при обработке сигналов. Прецизионный выпрямитель напряжения преобразует сигнал напряжения х. х. с цепи Input, масштабирует его и передает на цепь ВН для дальнейшей оцифровки. Аналогичную функцию преобразования сигнала выполняет прецизионный выпрямитель тока, но для сигнала тока к. з., поступающего через цепь InT, используется цепь ВТ.

Блок для управления и обработки, выполненный, например, на плате ArduinoNano с контроллером ATMEGA328, принимает сигналы ВН и ВТ, выполняет их цифровую обработку и управляет устройством. Результаты проверки отображаются на цветном матричном дисплее 128×128 точек с контроллером ST7735, использующим интерфейс SPI для связи с блоком для управления. Кнопка SW1 инициирует проверку, подавая сигнал на блок для управления через цепь SW. Реле SW2, управляемое через ту же цепь SW, переключает устройство в режим измерения тока к. з. Диод VD1, подключенный параллельно обмотке реле, защищает цепь управления от импульсов напряжения при отключении реле.

Схема электрическая принципиальная прецизионного выпрямителя напряжения и блока питания представлена на рис. 2.

Сигнал с тестируемой цепи поступает через вход Input. Далее он масштабируется входным резистивным делителем, первый операционный усилитель DA1 работает в режиме повторителя, обеспечивая согласование по импедансу, и передает сигнал на второй каскад.

Второй каскад, построенный на втором операционном усилителе DA2, выполняет функцию прецизионного активного выпрямителя с одно-

полярным питанием, формируя сигнал, пригодный для последующей цифровой обработки. Выход подается на аналоговый вход блока для управления и обработки.

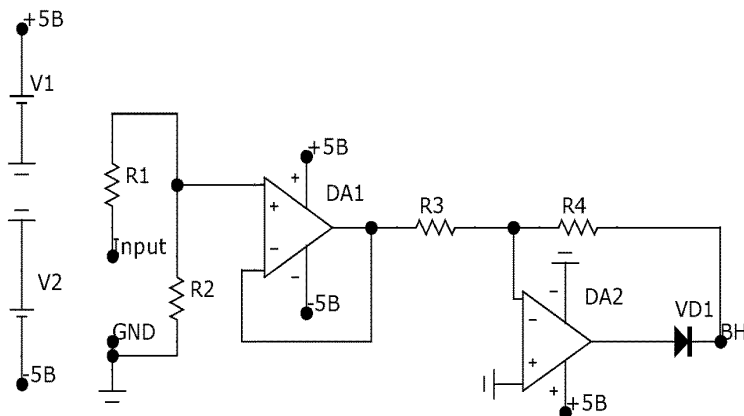


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная прецизионного выпрямителя напряжения х. х. и блока питания

Питание аналоговых цепей поступает от источников ± 5 В, что повышает линейность и обеспечивает работу усилителей в оптимальном режиме. Цифровая часть питается от однополярного источника +5 В. Отдельное внимание уделено фильтрации шумов и развязке по питанию между аналоговой и цифровой частью.

Схема электрическая принципиальная прецизионного выпрямителя тока представлена на рис. 3.

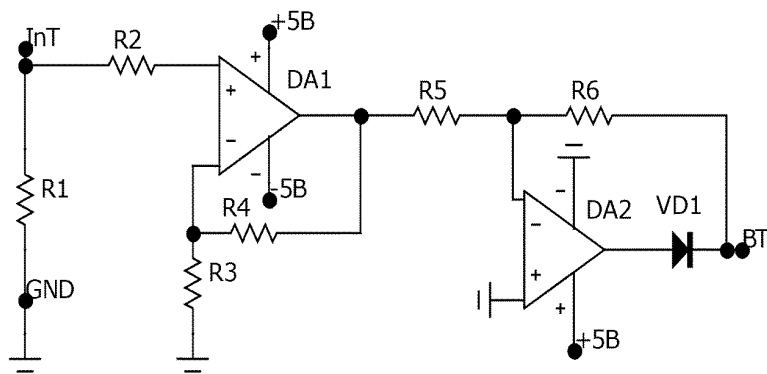


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная прецизионного выпрямителя тока короткого замыкания

В режиме измерения тока короткого замыкания реле SW2 замыкает выходную цепь, подключая ее через токоизмерительный резистор. Преоб-

разованное напряжение с этого резистора далее усиливается, выпрямляется и поступает на второй аналоговый вход (A1). Использование аналогичного подхода – повторителя и прецизионного активного выпрямителя – упрощает разработку и повышает аналогию каналов.

Схема электрическая принципиальная блока для управления и обработки (DD2) и дисплея (DD1) представлена на рис. 4.

Управление устройством и цифровая обработка сигналов выполняется микроконтроллером, например, ATMEGA328 (ArduinoNano). Такой выбор обусловлен простотой разработки, широким распространением и достаточными ресурсами для получения, обработки и отображения измеренных параметров.

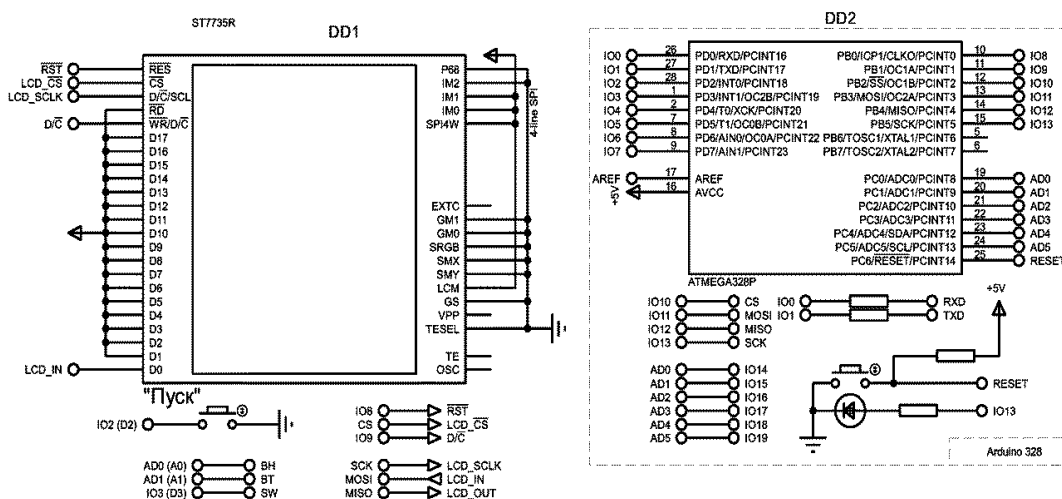


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная блока для управления и обработки и дисплея

Для индикации используется, например, TFT-дисплей на контроллере ST7735, подключенный по SPI-интерфейсу. Это позволяет добиться высокой скорости передачи данных и компактности подключения. Дисплей отображает амплитудные и действующие значения обоих параметров, а также рассчитанные соотношения между ними.

После подачи питания и подключения к цепи, пользователь нажимает кнопку «Пуск». Устройство переходит в режим измерения напряжения х. х. Сигнал с выпрямителя напряжения поступает на АЦП и производится его оцифровка.

После завершения фазы контроля напряжения, активируется реле SW2, и устройство переходит в режим измерения тока к. з. Аналогичным образом производится оцифровка сигнала тока.

Каждый из параметров регистрируется в течение фиксированного временного окна с высокой временной дискретизацией, позволяющей получить адекватную картину как амплитудного, так и действующего значений. Дополнительно рассчитывается характеристика формы переменного сигнала как отношение соответствующих амплитудных и действующих значений. После завершения расчетов производится вывод результата на дисплей.

Полный цикл проверки занимает около 0,5 секунды, что позволяет применять устройство в процессе наладки и диагностики без существенной затраты времени. Использование устройства не разрушает прибор для контроля работоспособности искрозащиты в цепях переменного напряжения.

Существенным преимуществом разработанного устройства является баланс между простотой схемных решений и достаточной точностью. Применение прецизионных аналоговых выпрямителей позволило обойтись без цифровых фильтров и ускорило измерения.

ArduinoNano, несмотря на свою простоту, показал достаточную вычислительную производительность, а интерфейс SPI обеспечил быструю и надежную передачу данных на дисплей. Дисплей ST7735 наглядно представляет параметры в удобном виде.

Для синусоидального напряжения величина отношения между амплитудным и действующим значением должна быть близкой к 1,41. Нужно признать, что не следует ожидать от данной оценки строгой гарантии синусоидального напряжения даже при указанном значении отношения для идеальной синусоиды, но для практического применения нарушения формы питающего напряжения будут выявляться с высокой достоверностью при полном исключении ложных выводов.

Перспективным направлением усовершенствованием устройства может стать реализация адаптивного анализа сигнала, автоматическая запись в память или интеграция с сетевой системой мониторинга.

ВЫВОДЫ

Разработано устройство для контроля работоспособности искрозащиты в цепях переменного напряжения, реализующее измерение напряжения холостого хода и тока короткого замыкания с последующим расчетом электрических параметров, необходимых для проверки исправности искрозащиты.

Простота конструкции, высокая информативность и возможность последующей модификации делают устройство пригодным как для производственного применения, так и для научно-исследовательских целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган Э. Г. Способы и средства обеспечения искробезопасности рудничного электрооборудования / Э. Г. Коган. – Москва: Недра. – 1988. – 101 с.
2. ГОСТ 22782.5-78. Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь». Технические требования и методы испытаний: Государственный стандарт СССР: дата введения 1980-01-01. – Изд. официальное – Москва: Стандартиздат, 1979. – 70 с.
3. ГОСТ 31610.11-2014. Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «i» (IEC 60079-11:2011, MOD): национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2016-12-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 120 с.
4. Диденко В. П. К оценке искробезопасности электрических цепей промышленной частоты / В. П. Диденко, В. В. Диденко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб./ МАКНИИ. – 2024. – № 4(67). – С. 112-116.
5. Диденко В. П. Анализ воспламеняющей способности коммутационных разрядов в электрических цепях переменного тока / В. П. Диденко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МАКНИИ. – 2024. – № 4(67). – С. 117-125.

Получено: 05.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Демченко О.А.

UDC 622:621.31

**V.P. DIDENKO, Ph. D. Eng., senior research worker, GBU MAKNII,
Makeyevka**

MONITORING OF WORKING EFFICIENCY OF SPARK PROTECTION IN ALTERNATING VOLTAGE CIRCUITS

In this research paper the buildup of devices principles for monitoring of working efficiency of spark protection in alternating voltage circuits are presented conducting an assessment of the parameters of the output circuit of a power source by measuring the no-load voltage and short circuit current. This

device ensures the digital proceeding of signals, the calculation of amplitude and effective parameter values as well as the assessment of signal shape.

Keywords: spark protection, status monitoring, alternating voltage, digital proceeding, intrinsically safe electrical circuit.

УДК 622.81

А. П. КИРЬЯН, канд. техн. наук, начальник,
ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России», г. Донецк;
С.А. МЕЛЬНИКОВ, ученый секретарь,
Л.Н. КАПРАН, зав. лаб.,
В.Н. КИРИН, ст. науч. сотр.; **ГБУ «ДОНУГИ», г. Донецк**

ОБ АНАЛИЗЕ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ ГАЗА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ШАХТАХ

Проанализированы средства для локализации взрывов газа и угольной пыли в шахтах. Выявлены основные недостатки сланцевых и водяных заслонов, влияющие на локализации взрывов. Определены основные направления в совершенствовании способов и устройств для локализации взрывов.

Ключевые слова: сланцевые заслоны, горные выработки, метановоздушная смесь, инертная пыль, локализация взрыва, взрывозащитное устройство, совершенствование технических средств.

Горнодобывающая отрасль является одной из наиболее аварийных и травмоопасных отраслей промышленности. Взрывы газа и пыли на угольных шахтах России остаются доминирующими травмирующими факторами по сравнению с другими видами аварий с групповыми несчастными случаями.

Следует отметить, что добыча угля во всех странах мира также сопровождается авариями.

С 2014 по 2022 гг. в шахтах ДНР в результате взрывов погибли 48 человек, что составило 34,29% в общей структуре всего смертельного травматизма в отрасли [1].

В настоящее время борьба со взрывами метана и угольной пыли – актуальная проблема обеспечения безопасных условий труда горнорабочих в шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по взрывам газа и пыли. При неудовлетворительном состоянии средств пылевзрывозащиты даже локальные взрывы метана или взвешенной угольной пыли способны распространиться по выработкам на значительные расстояния. Поэтому, совершенствование системы локализации взрывов газа и угольной пыли – составная часть проблемы пылевзрывозащиты шахт, решение которой одна из важнейших задач в области техники безопасности и охраны труда на

ближайшие годы.

Цель статьи – анализ уровня техники в области разработки устройств для локализации взрывов.

В зависимости от наличия взрывчатой смеси выделяют три вида взрывов: взрыв метана, взрыв угольной пыли, взрыв метана и угольной пыли.

Исходя из мощности источника и количества взорвавшегося метана и угольной пыли, взрывы условно разделяют на три категории:

- слабые взрывы, происходящие при незначительном местном скоплении метана. Они срывают вентиляционные трубы, нарушается состояние только что поставленной крепи без разрушения целостности ее элементов. Горнорабочие получают ожоги средней или легкой тяжести и отравление, оставаясь живыми;

- взрывы средней мощности, возникающие при наличии в куполах выработки значительных объемов метана и/или его слоевых скоплений. Такой взрыв, происшедший в забое проводимой выработки, распространяется на всю выработку, разрушает сланцевые заслоны, крепи, находящиеся в забое горнорабочие погибают или получают тяжелые ожоги и отравление;

- взрывы большой разрушительной силы с катастрофическими последствиями, происходящие, в основном, по схеме, аналогичной протеканию взрывов средней величины. Отличие состоит в том, что взрыв метана поднимает в воздух большое количество угольной пыли и взрывает ее.

Большой вклад в разработку системы мер, направленных на локализацию и гашение взрывов газа и угольной пыли, внес французский горный инженер Жак Таффанель (1875–1946 гг.), возглавлявший работу на испытательной станции в городке Льевен в регионе Па-де-Кале.

Ж. Таффанель провел эксперименты и предложил заслон, состоящий из плоских деревянных полок, на которых размещалась инертная пыль. Полки заслона устанавливались либо вдоль (рисунок, а), либо поперек выработки (рисунок, б).

Этот заслон стал прототипом сланцевых заслонов для локализации взрывов газа и угольной пыли в шахтах. Причем, более чем за сто лет конструкция и принцип работы заслонов не претерпели существенных изменений. Применяющиеся в настоящее время на шахтах Франции сланцевые заслоны отличаются от заслонов Ж. Таффанеля только тем, что отсутствует жесткая связь между полками и опорами. Это способствует лучшему опрокидыванию полок. Загрузка заслона инертной пылью производится из расчета 400 кг/м² выработки.

Анализ заслонов, применяемых в шахтах США, Германии, Англии, Польши показал, что их основными конструктивными элементами являют-

ся полки, на которые загружают инертную пыль, мешки с инертной пылью или устанавливают V-образные корыта.

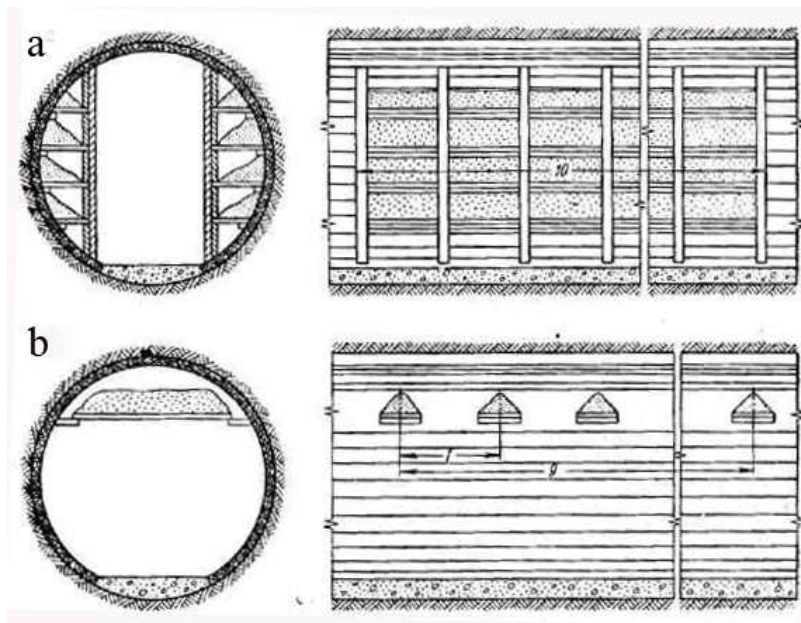


Рисунок – Сланцевый заслон Ж. Таффанеля

Сланцевые заслоны, применяемые в угольных шахтах России, также не претерпели никаких конструктивных изменений.

Принцип предотвращения распространения взрывов по горным выработкам сланцевыми заслонами заключается в том, что ударно-воздушная волна, образовавшаяся в результате взрыва метана и угольной пыли, при подходе к сланцевому заслону, разрушает полки с инертной пылью. Инертная пыль переходит во взвешенное состояние по всему сечению выработки и гасит фронт пламени, возникший в результате взрыва.

Весовая норма инертной пыли для локализации взрывов на квадратный метр сечения выработки составляет: во Франции – 400 кг/м^2 ; в США – 300 кг/м^2 ; в Англии – 450 кг/м^2 ; в Германии – $300\text{--}350 \text{ кг/м}^2$ [2].

Для локализации взрывов угольной пыли в горных выработках широкое распространение получили водяные заслоны, не уступающие по надежности и эффективности, сланцевым заслонам, но более удобны в эксплуатации. Однако вследствие испарения воды из сосудов и влияния человеческого фактора при заполнении их водой, заслоны не всегда обеспечивают локализацию взрывов.

Для снижения испарения к воде в сосудах добавляли различные химические вещества: хлориды кальция, магния, пленкообразующие полимеры. Но это требует больших материальных затрат.

Кроме того, сосуды закрывают полиэтиленовой пленкой, уменьшающей в 3-4 раза испарение воды, но воздействие вентиляционной струи иногда срывает ее.

Опытно-промышленная проверка водяных заслонов, оснащенных крышками из ударопрочного полистирола, показала их достаточно высокую эффективность. Однако при этом затруднительно контролировать уровень воды в сосудах [3].

Использование только пассивных заслонов не позволяет надежно подавлять все виды взрывов, происходящих в угольных шахтах. Поэтому были разработаны активные заслоны – автоматические системы взрывоподавления, оснащенные датчиками, реагирующими на параметры взрыва. Эти системы локализуют взрыв метановоздушной смеси и угольной пыли принудительной подачей пламегасящего вещества в горную выработку энергией сжатого воздуха высокого давления [4].

При разработке различных средств для локализации взрывов основной задачей является надежное и эффективное их срабатывание для своевременного создания взрывогасящей среды. Основными сложностями при их разработке являются:

- противоречивость данных о распространении взрыва по выработке;
- плохо формализованные и неструктурированные данные;
- отсутствие архитектуры системы для локализации взрывов.

Устройства и системы для локализации взрывов в горных выработках угольных шахт постоянно совершенствуются. Использование интеллектуальных роботизированных систем, как одно из направлений, позволяет эффективно решать вопросы локализации взрывов в определенных условиях, но в шахтных условиях это весьма проблематично вследствие специфических шахтных условий. Однако следует отметить, что решение интеллектуальных задач нейросистемами для управления системой, локализующей взрывы, перспективно.

ВЫВОДЫ

Анализ показал, что до настоящего времени нет надежных и эффективных устройств для локализации взрывов газа и угольной пыли в горных выработках. Поэтому необходима разработка новых, более совершенных систем для гашения фронта пламени и локализации взрывов метановоздушной смеси и угольной пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деревянский В.Ю. О требованиях к взрывоподавляющим веще-

ствам, используемых в средствах для локализации взрывов газа и пыли в угольных шахтах / В.Ю. Деревянский, В.В. Деньга // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб./ ГБУ «МАКНИИ». – 2025. – Вып. №2 (69). – С. 81-86.

2. Дрижд Н.А. Инженерные системы взрывоподавления на горных предприятиях : Д 74 монография / Н.А. Дрижд, В.М. Плотников, В.С. Харьковский.– Караганда : Карагандинский государственный технический университет, 2010.– 173 с.

3. Ноженко А.А. Совершенствование средств предупреждения взрывов угольной пыли на шахтах и их локализации / А.А. Ноженко // Сб. науч. трудов ДонГТИ. – 2022. – №27.– С. 18 – 23.

4. Руководство по эксплуатации и применению автоматических систем взрывоподавления–локализации взрывов (АСВП-ЛВ) в подземных горных выработках угольных шахт, опасных по газу и пыли». Согласовано письмом Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору №13-07/600 от 12.11.2006 г. – 6 с.

Получено: 01.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Балов С.В.

UDC 622.81

A.P. KIRYAN, Ph. Dr. Eng., head, FGKU NII Respirator MCHS Rossii, Donetsk;

S. A. MELNIKOV, scientific secretary,

L. N. KAPRAN, head of laboratory,

V. N. KIRIN, senior research worker; GBU DONUGI, Donetsk

ANALYSIS OF METHODS AND DEVICES FOR ISOLATION OF GAS AND COAL DUST EXPLOSIONS IN MINES

In this research paper the means for isolation of gas and coal dust explosions in mines have been analyzed. The main disadvantages of stone-dust and water barriers have been detected, which influence the explosion isolation. Principal directions for improvement of methods and means for explosion isolation have been determined.

Keywords: stone-dust barriers, mine workings, fire damp, inexplusive dust, explosion isolation, explosion protective device, development of technical facilities.

III. ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.831

Е.А. ЯКОВЕНКО, зав. лаб.,

Н.Л. ТИМОФЕЕВА, науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕГАЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОЖАРЕ

Рассмотрены пути проникновения пламени в дегазационную систему при пожаре в шахте. Показаны условия, при которых возможно воспламенение горючей метановоздушной смеси в дегазационной системе при воздействии на нее открытого пламени пожара в горных выработках.

Ключевые слова: горная выработка, метан, дегазация, пожар, пламя, трубопровод, скважины, трещина, зазор.

Опыт ликвидации подземных пожаров и результаты научных исследований в области управления метановыделением на угольных шахтах показали, что дегазация позволяет быстро и качественно ликвидировать пожары в шахтах [1].

В то же время разветвленная в горных выработках система дегазационных трубопроводов, транспортирующая метановоздушную смесь (МВС), при нарушении правил безопасности может явиться огнепроводящим шнуром, быть причиной распространения аварии по всей шахте с выходом ее на поверхность, стать инициатором крупнейшей аварии, поэтому актуально выявить условия воспламенения взрывоопасной смеси в трубопроводах.

Цель статьи – информирование специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации дегазационных систем, с условиями воспламенения в них горючей метановоздушной смеси.

Для обеспечения безопасности дегазации при пожаре проведены исследования воздействия пламени на дегазационную систему в условиях пожара и возможные варианты развития горения в дегазационных трубопроводах.

Газотранспортные системы угольных шахт имеют специфические особенности вследствие расположения большей их части в горных выработках. Это приводит к повышенной опасности возгорания транспортируемой газовой смеси в трубопроводах, особенно при подземных пожарах и других авариях в горных выработках газообильных шахт.

Рассмотрим случай пожара в подготовительной выработке с дегазационным газопроводом. Уже на первой стадии развития пожара пламя и продукты сгорания могут воздействовать на трубопровод, нагревать трубы и стыки между ними. В связи с этим вероятны следующие варианты поджигания МВС зажигательным импульсом в дегазационном трубопроводе через:

- фланцевое соединение труб при прогорании прокладок;
- отверстия прогоревшего гофрированного рукава, соединяющего обсадную трубу скважины с трубопроводом;
- стенки труб при нагревании пламенем пожара и продуктами горения;
- систему трещин в стенках скважин, соединенных с трубопроводом;
- патрубки или открытый конец трубы при отсасывании газа из выработанного пространства.

Разгерметизация трубопровода при пожаре приводит к дополнительным подсосам воздуха в систему и уменьшению содержания метана до его горючих и взрывчатых пределов.

Рассмотрим вероятные пути проникновения пламени.

1. Фланцевые соединения труб.

По данным лабораторных исследований НИИГД [2] разгерметизация системы (падение вакуума) начинается уже через 15 минут после воздействия пламени на стык газопроводов. Однако следует отметить, что условия проведения экспериментов не отображали натурные:

- применялись трубы малого диаметра;
- трубы были заполнены воздухом, а не горючей МВС;
- воздух в трубах был неподвижен,
- трубы нагревали в муфельной печи, а не открытым пламенем.

Расчетная величина критического диаметра отверстия при тушении пламени в канале для МВС 3,6 мм [3], а экспериментальные значения у разных авторов, в зависимости от условий экспериментов, находятся в пределах от 3,5 до 4,1 мм.

В [4] отмечено, что экспериментальные значения критического размера канала в виде узких щелей в 1,4 раза меньше критического диаметра для цилиндрических отверстий. Для метановоздушной стехиометрической смеси расчетная критическая ширина щелей равняется 2,6 мм [5].

Проскакивание пламени в дегазационную систему через зазор между фланцами в случае прогорания прокладок или изгиба трубопровода при нагревании, по своему механизму соответствует поджогу газовой смеси через зазор между фланцами электрооборудования. Однако разница расчетной величины критического размера щелей 2,6 мм и безопасной ее величины, полученной экспериментально при определении допустимого за-

зора между фланцами взрывозащищенного электрооборудования и равной от 0,1 до 0,5 мм.

В связи с этим представляет интерес не только состояние и время прогорания прокладок, но и форма щелей, и минимальная величина зазора между фланцами, через который возможно проскакивание пламени в сеть дегазационных газопроводов.

Исследованиями [6] установлено, что в зависимости от материала прокладок их прогорание при воздействии пламени может происходить от 15 до 35 минут.

Исследования воздействия пламени на стык трубопровода, находящегося под разрежением, показало [6], что в этом случае поток газа в щели не только не препятствует, но и способствует воспламенению МВС в трубопроводе. Экспериментальные данные, полученные для стехиометрической смеси при разрежении в трубопроводе, показали, что проскок пламени через радиальную щель между фланцами возможен при ширине щели 1,25 мм и более.

2. Отверстия прогоревшего гофрированного рукава.

Гофрированный рукав менее устойчив к воздействию пламени. Через 3 минуты с его поверхности начинает выделяться дым, через 13 минут происходит его разгерметизация, а еще через 2 минуты отверстие достигает критической величины от 3,5 до 4,1 мм и происходит проскок пламени в рукав. Легкие удары, по рукаву, например, падение породы, усиливают его разрушение [6].

3. Стенки труб при нагревании пламенем пожара.

При нагревании труб возможны два варианта воспламенения МВС:

- воспламенение смеси в объеме (самовоспламенение),
- воспламенение нагретой поверхностью.

Температура самовоспламенения МВС экспериментально определена в лабораторных условиях [4], [7] путем нагрева в муфельной печи емкости, заполненной взрывоопасной смесью. При давлении от 0,03 до 0,10 МПа температура соответствовала 630°C, а период индукции – несколькими секундами. Температура и время задержки воспламенения в значительной мере различаются, однако в их основе лежит один показатель – тепловой.

При первом варианте газозадушная смесь нагревается до температуры ее самовозгорания. Этот механизм воспламенения метана при наружном нагревании дегазационного трубопровода возможен, во-первых, в случае остановки потока МВС, и, во-вторых, при движении МВС на большой длине трубопровода, нагретого до температуры самовозгорания.

При втором варианте воспламенения холодная МВС поджигается в любой точке дегазационного трубопровода высокотемпературным источником, и дальнейшее распространение пламени происходит без внешнего

вмешательства.

В трубопроводе при пожаре такой механизм воспламенения возможен при локальном высокотемпературном нагреве от 1200°C до 1400°C небольшого участка поверхности труб, например, при непосредственном контакте горящего угля или открытого пламени с газопроводом. Это подтверждается неоднократными наблюдениями локального плавления стальной стенки трубопроводов при ликвидации пожаров в горных выработках.

Исследования показывают, что принудительное воспламенение МВС происходит при нагревании сравнительно небольших поверхностей твердых тел до температур выше 1000°C [4].

Резкое снижение периода индукции при высоких температурах до нескольких миллисекунд [8] позволяет утверждать, что даже при скорости потока 20 м/с локальное нагревание трубы до такого состояния приведет к воспламенению МВС.

4. Трещины в стенках скважин.

Критический размер трещин в горной породе, соединяющих дегазационные скважины с рудничной атмосферой в горной выработке или выработанном пространстве будет таким же, как и между фланцами газопроводов, так как величина не зависит от теплотехнических характеристик материала стенки канала.

Реальность распространения пламени горения метана через трещины, соединяющие скважину с выработанным пространством, подтверждает авария, произошедшая в дегазационной системе шахты имени Ленинского Комсомола ОП «Укрзападуголь»: пламя горения метана в газопроводе прошло через скважину и трещины в горном массиве и вызвало взрывы МВС и пожар в выработанном пространстве.

5. Патрубки или открытый конец трубы при отсасывании газа из выработанного пространства.

При воспламенении на всасе газотранспортной системы направление движения фронта горения и потока смеси совпадают. Это способствует проникновению пламени в газопровод и обуславливает необходимость защиты входа в систему, особенно в случае транспортирования смесей, находящихся в пределах горючести метана, поскольку проход пламени в трубопровод через его открытый конец на всасе не вызывает сомнений ни с точки зрения теории горения, ни его практики.

ВЫВОДЫ

Анализ условий эксплуатации дегазационной системы при пожаре показал, что при воздействии открытого пламени на газопровод, воспламенение в нем горючей метановоздушной смеси, возможно:

– открытым пламенем через зазор между фланцами, трещины вокруг скважин более 1,25 мм, отверстия диаметром более 3,5 мм в трубах и гофрированных рукавах;

– нагретой стенкой трубы до температуры более 650°C для остановленного потока и более 1200°C для движущейся метановоздушной смеси;

– пламенем через открытый конец трубопровода на всасе.

Знание условий эксплуатации дегазационной системы при пожаре позволит не допустить в них воспламенения или взрывов метановоздушной смеси при ликвидации аварий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковенко Е.А. Анализ опыта ликвидации шахтных пожаров с использованием средств дегазации / Е.А. Яковенко, Р.А. Тишин. – Материалы круглого стола «Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах» в рамках XI Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – ГБУ «МАКНИИ», 2025. – 4 с.

2. Рекомендации по режимам работ дегазационных систем при тушении пожаров на шахтах Донбасса. – Донецк: ВНИИГД, 1975. – 24 с.

3. Розловский А.И. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами / А.И. Розловский. – Москва: Химия, 1972. – 368 с.

4. Заказнов В.Ф. Инженерный журнал. / В.Ф. Заказнов, А.И. Розловский, И.И. Стрижевский. 1963. – № 3. – С. 280.

5. Правила изготовления взрывозащищенного рудничного электрооборудования – Москва: Издательство стандартов, 1978. – 197 с.

6. Кудинов Ю.В. Совершенствование взрывозащиты шахтных дегазационных систем / Ю.В. Кудинов. – Макеевка-Донбасс, 2006. – 285 с.

7. Дубнов Л.В. Предохранительные взрывчатые вещества в горной промышленности / Л.В. Дубнов. – Москва: Углетехизд, 1953. – 243 с.

8. Рамсей Х.Т. Обзор случаев воспламенения метана в британских угольных шахтах / Х.Т. Рамсей, К.А. Васс, Ф.Дж. Хартвелл // Глюкауф. – 1965. – № 6. – С.18-21.

Получено: 03.09.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук В.А. Безбородов

UDC 622.831

**E.A. YAKOVENKO, head of laboratory,
N.L. TIMOFEEVA, research worker; GBU MAKNI, Makeyevka**

**ANALYSIS OF OPERATIONAL ENVIRONMENT
OF A DEGASSING SYSTEM IN CASE OF FIRE EVENT**

In this research paper invasion routes of fire into degassing system in case of fire event in a mine are considered. The conditions are demonstrated which enable the ignition of combustible fire damp in a degassing system under the influence of open flame in mine workings.

Keywords: mine working, methane, degassing, fire event, flame, pipeline, borings, break, clearance.

УДК 622.812.2:622.831.32

Г.Б. ТЫНДА, зав. отд.,

Р.В. БЕРЕГОВОЙ, науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ИСТОЧНИКОМ МЕТАНА И ПОДОШВОЙ ВЫРАБОТКИ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОРЫВОВ МЕТАНА ИЗ ПОЧВЫ

Установлено влияние основных горно-геологических факторов и удаленности природного источника метана от почвы выработки на частоту возникновения прорывов метана из почвы горной выработки. Определен наиболее опасный диапазон каждого показателя.

Ключевые слова: горная выработка, разгрузка массива, внезапный прорыв метана из почвы, источник метана, удаленность источника.

Внезапные прорывы метана из почвы (ВПМП) представляют собой мощное газодинамическое явление, характеризующееся, в ряде случаев, значительными разрушениями горных выработок и потоками метана, объемом которого превышает сотни кубометров в минуту. В результате ВПМП зачастую формируется газовая среда с низким содержанием кислорода и создается угроза для жизни горнорабочих, поэтому прогнозирование ВПМП является актуальным.

В настоящее время ведутся научные исследования, направленные на повышение достоверности прогноза ВМПМ. В процессе исследований рассматривается вопрос о влиянии горно-геологических факторов на вероятность возникновения этого явления.

Цель статьи – информирование специалистов, занимающихся вопросами аэрологической безопасности, о влиянии расстояния между подошвой горной выработки и природным источником метана, залегающим в породах почвы, на частоту возникновения ВПМП.

Как уже упоминалось в [1] наличие источника метана в нижележащих породах является условием реализации ВПМП. В результате выемки угля или проведения выработки степень разгрузки и деформации массива в направлении почвы резко падает, поэтому именно расстояние между подошвой горной выработки и природным источником метана играет ключе-

вую роль в процессе формирования опасной зоны [2-6]. Удаленность источника метана от горной выработки связана с ВПМП следующим образом. Слишком близкое залегание природного источника к горной выработке означает, что его дегазация окажется стопроцентной. Следовательно, в процессе заполнения полости расслоения примет участие максимально возможное количество метана, и это, в конечном счете, будет способствовать реализации прорыва. Вместе с тем, при близком залегании источника, толщина слоя–изолятора, разделяющего горную выработку и возможную полость расслоения, окажется небольшой. А это обстоятельство отрицательно сказывается на формировании газового коллектора с последующим ВПМП.

Если слой–изолятор слишком тонкий, обеспечение этим слоем герметичности системы "полость расслоения – горная выработка" при перепаде давлений в слое, достигающем значений порядка от 20 до 50 атм., становится маловероятным. При меньших перепадах давления сама возможность динамического развития рассматриваемого явления оказывается под вопросом.

Кроме того, вследствие малой толщины слоя–изолятора его механической прочности, вероятнее всего, окажется недостаточно, чтобы длительно сохранять свою целостность, и, тем самым, обеспечивать условия для формирования опасной зоны. Тем более, что именно слои пород непосредственной почвы испытывают наибольшие напряжения и деформации, связанные с воздействием опорного давления.

Если же природный источник расположен слишком далеко, мы наблюдаем обратную картину. С одной стороны, слой–изолятор скорее всего окажется слишком прочным, для того чтобы мгновенно разрушиться под совместным воздействием горного давления и избыточного давления метана в полости расслоения, а степень дегазации природного источника – слишком мала для обеспечения поступления необходимого объема свободного метана в эти полости.

И только при расположении конкретного природного источника на некоторой глубине от горной выработки могут сформироваться оптимальные условия для реализации ВПМП. Задача определения оптимальной глубины значительно упрощается, если принять во внимание, что протяженность зоны разгрузки и газоотдачи в почве ограничивается для подготовительных выработок величиной от 10 до 15 м, а для очистных от 50 до 60 м [6, 7].

Для выявления связи между удаленностью природного источника метана от подошвы выработки и частотой возникновения ВПМП была вы-

полнена статистическая обработка информации о произошедших авариях на шахтах Донбасса за период с 1960 по 2000 гг.

Обработаны данные о 104 случаях ВПМП и построена гистограмма частоты возникновения ВПМП в зависимости от удаленности источника метана от подошвы выработки (рисунок).

Количество ВПМП в зависимости от удаленности источника метана от подошвы горной выработки распределилось следующим образом:

- от 0 до 1 м имел место один прорыв, что составляет 0,96 %;
- от 1 до 3 м – 9 прорывов или 8,7%;
- от 3 до 12 м – 79 прорывов или 76%;
- от 12 до 30 м – 15 прорывов или 14,5 %.

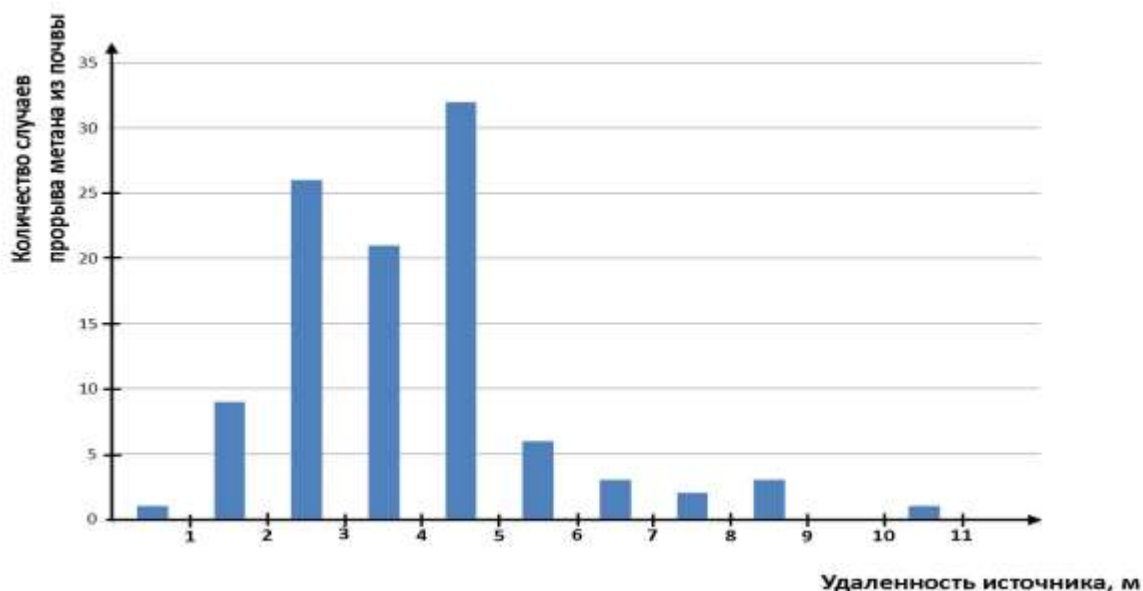


Рисунок – Гистограмма ВПМП в зависимости от расстояния источника метана от подошвы горной выработки

Расстояние между источником метана и подошвой выработки, при котором наблюдается максимум частоты ВПМП $M_{ист}$, составляет от 10 до 13 м.

Коэффициент корреляции между частотой прорывов и удаленностью природного источника равен 0,75, что свидетельствует о тесной связи между этими показателями. С использованием статистики ВПМП получено уравнение регрессии частоты возникновения этого явления N , как

функции удаленности природного источника метана от подошвы горной выработки $N = f(M_{\text{ист}})$:

$$N = 1,86 M_{\text{ист}}^{2,5} \exp(-0,291 M_{\text{ист}}),$$

где $M_{\text{ист}}$ – расстояние между источником метана и подошвой выработки, м.

ВЫВОДЫ

Результаты статистической обработки полностью подтвердили выдвинутое предположение о влиянии удаленности природных источников от подошвы горной выработки на частоту возникновения ВПМП. Наиболее опасным следует считать диапазон $10 < M_{\text{ист}} < 13\text{м}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тында Г.Б. Об оценке интенсивности заполнения метаном полостей расслоения массива в выработках, опасных по прорывам метана из почвы / Г.Б. Тында, Р.В. Береговой // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб./ МАКНИИ. – 2024. – Вып. № 4 (67) . – С. 205-211.
2. Звягильский Е.Л. Управление метановыделением на выемочных участках угольных шахт / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 124 с.
3. Геомеханические закономерности проявлений горного давления в глубоких шахтах / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, О.Г. Худолей, Н.В. Малеев. – Донецк: Донбасс, 2011. – 222 с.
4. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах / А.Т. Айруни. – Москва: Недра, 1981. – 335 с.
5. Иофис М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев. – Москва: Недра, 1985. – 248 с.
6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 311 с.
7. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.100174088.001-2004. – Офиц. изд. – Киев, 2004. – 162 с.

Получено: 22.08.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Безбородов В.А.

UDC 622.812.2:622.831.32

G. B. TYNDA, *head of department,*

R.V. BEREGOVOY, *research worker; GBU MAKNI, Makeyevka*

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE DISTANCE FROM THE
SOURCE OF METHANE TO THE BOTTOM OF THE
WORKING ON THE FREQUENCY OF OCCURRENCE OF
METHANE BREAKS FROM THE GROUND**

The analysis of the influence of the natural source's remoteness on the occurrence of a sudden methane breakthrough from the ground of a coal mine mining workings has been performed. By statistically processing information about the number of these gas-dynamic phenomena, a regression equation for the frequency of breakthroughs was obtained as a function of the distance of the methane source from the bottom of the mine. The most dangerous range of this indicator was determined.

Key words: coal mine working, relax of rock massive, methane breakthrough, methane source, remoteness

УДК 622.831

Р.М. БОГОУДИНОВ, зав. отд.,
М.Ф. РЫЖКОВ, зав. лаб.,
А.Д. БОНДАРЕНКО, ст. науч. сотр.,
А.А. ЧЕРНИГОВЦЕВА, ст. науч. сотр.,
Л.М. ЛЕВЧЕНКО, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О ПРИМЕНЕНИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ОТРАБОТКИ ЗАЩИТНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПОРОДЫ И ГАЗА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ ИМЕНИ А.А. СКОЧИНСКОГО

Проанализирована нормативная документация, относящаяся к способам предотвращения выбросов породы и газа при проведении горных выработок по выбросоопасным породам. Выполнена систематизация и анализ сведений о проявлении выбросоопасности пород на шахте им. А.А. Скочинского при пересечении выработками геомеханических зон. Обоснованы пути совершенствования способов борьбы с выбросами породы и газа, снижающие опасность проявления данного вида динамических явлений.

Ключевые слова: выброс породы и газа, геомеханическая зона, информационно-аналитическая программа, безопасность горных работ.

Добыча угля подземным способом и проведение горных выработок на шахтах Донбасса осуществляются в сложных горно-геологических условиях и нередко осложняются возникновением динамических явлений (ДЯ), одним из видов которых являются внезапные выбросы породы и газа. Выбросы породы (песчаника) по своей характеристике сопровождаются отбросом породы, повышенным газовыделением в выработку и, зачастую, – повреждением горношахтного оборудования и нарушением нормального режима проветривания горных выработок.

Анализ требований нормативной базы по борьбе с ДЯ [1, 2] показал отсутствие на сегодняшний момент локальных способов предотвращения выбросов породы и газа, способов снижения их частоты и интенсивности при проведении горных выработок по выбросоопасным породам (песчаникам). Единственным реализуемым на сегодня региональным способом предотвращения ДЯ, в том числе выбросов породы и газа, является опережающая отработка защитных пластов, а способом обеспечения безопасности работающих при проведении выработок по выбросоопасным породам остается их проведение буровзрывным способом в режиме сотрясательно-

го взрывания (СВ), что не всегда является приемлемым ввиду снижения темпов проходки и ограничения технологических процессов при соблюдении режима СВ.

Согласно анализу состояния отработки угольных пластов Донбасса за последние 5 лет, от 10 % до 21 % подготовительных забоев на склонных к ДЯ угольных пластах проводились при полной эффективной защите. В соответствии с данными разработанной в ГБУ «МАКНИИ» информационно-аналитической программы регистрации выбросов породы и газа, большинство выбросов породы (77,6 %), произошедших за период 1960–2024 гг., были зарегистрированы на шахте им. А.А. Скочинского (ранее «Петровская–Глубокая»). В связи с этим, исследование эффективности применения отработки защитных пластов для предотвращения выбросов породы и газа в условиях шахты им. А.А. Скочинского ГУП ДНР «ДУЭК» является актуальной научно-технической задачей, поскольку ее решение будет способствовать совершенствованию способов предотвращения выбросов породы и газа при проведении выработок по выбросоопасным песчаникам.

Цель работы – систематизация и анализ сведений о проявлении выбросоопасности пород при проведении горных выработок на шахте им. А.А. Скочинского в различных геомеханических зонах для обоснования путей совершенствования способов борьбы с выбросами породы и газа.

Следует отметить, что разработанная ГБУ «МАКНИИ» «Информационно-аналитическая программа регистрации выбросов породы и газа на шахтах Донбасса», база данных которой включает на сегодняшний момент 3966 выбросов породы, позволяет систематизировать выбросы породы и оценить влияние горно-геологических, горнотехнических и геомеханических факторов на возникновение данного вида ДЯ с выводом результатов в виде гистограмм и графиков [3].

Так, на рис. 1 в качестве примера представлена полученная с помощью данной программы гистограмма распределения выбросов породы и газа по углу падения пород. Анализ данных рис. 1 показывает, что выбросы породы зарегистрированы во всем диапазоне углов залегания пород, однако большинство выбросов (порядка 90 %) произошло при пологом падении пород (от 6° до 10°), а на крутонаклонное и крутое падение приходится лишь 0,4 % выбросов. Последнее обстоятельство может быть объяснено влиянием геомеханического фактора [4]. Так, на шахтах, отрабатывающих пласты крутого падения, за счет выбора оптимального порядка отработки сближенных пластов в свитах (нисходящий, восходящий или смешанный) удастся обеспечить эффективной защитой наибольшее число пластов, склонных к ДЯ.

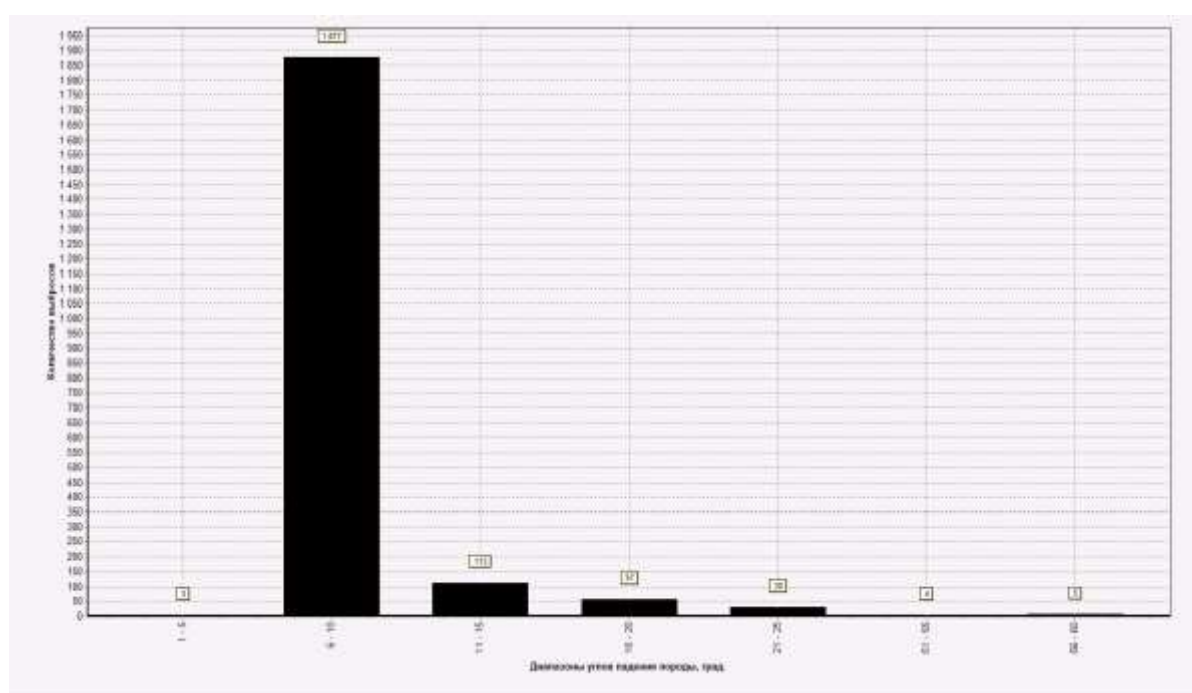


Рис. 1. Распределение выбросов породы и газа по углу падения пород

Таким образом, на защищаемых пластах и в выбросоопасных породах (песчаниках) междупластья в зонах эффективной защиты устраняется опасность возникновения большинства видов ДЯ, в том числе и выбросов породы и газа [5], за счет разгрузки и дегазации углепородного массива. Тому подтверждение – низкий уровень проявления выбросов породы при крутом и крутонаклонном их залегании (от 35° и выше).

Для анализа влияния геомеханического фактора на проявление выбросов породы и газа при пологом залегании пород, на основе базы данных разработанной информационно-аналитической программы были собраны сведения о выбросах породы, произошедших на шахте им. А.А. Скочинского при пересечении выработками защищенных и незащищенных зон. Обобщенные сведения представлены в таблице.

Выработки, приведенные в таблице, на всем протяжении геомеханических зон проводились в почве пласта h_6' , по выбросоопасному песчанику h_5Sh_6' общей мощностью 35-50 м буровзрывным способом в режиме СВ, при этом сечение их в проходке варьировалось от $7,9 \text{ м}^2$ до $27,7 \text{ м}^2$. Расстояние от контура проводимых выработок до защитного пласта h_6' изменялось в диапазоне 13-18 м.

Анализ представленных данных показал, что при пересечении выработками защищенных зон от надработки коренной разгрузочной и 15 восточной лав пласта h_6' выбросы породы и газа зарегистрированы не были,

что свидетельствует о разгружающем влиянии отработки защитного пласта h_6' на устранение выбросоопасности песчаника h_5Sh_6' в сечении выработок.

Таблица

Сведения о проявлении выбросоопасности пород при проведении
горных выработок в различных геомеханических зонах

Наименование выработки, горизонт	Характеристика геомеханической зоны	Подвигание за- боя выработки в геомеханической зоне, м	Количество выбросов породы и газа	Пределы из- менения ин- тенсивности выбросов, т
Восточный полевой штрек № 1, 1105-1200 м	Незащищенная зо- на	1950	233	34-2500
	Защищенная зона (надработка корен- ной разгрузочной лавой пласта h_6')	1225	0	-
Восточный полевой штрек № 2, 1105-1200 м	Незащищенная зона	2950	376	14-700
	Защищенная зона (надработка корен- ной разгрузочной лавой пласта h_6')	1500	0	-
	Защищенная зона (надработка 15 во- сточной лавой пла- ста h_6')	480	0	-

С другой стороны, при пересечении полевыми выработками незащищенных зон общей протяженностью 4900 м произошло 609 выбросов породы и газа интенсивностью от 14 до 2500 т, что говорит о сохранении повышенных напряжений и газоносности песчаника, т.е. о его потенциальной выбросоопасности на участках отсутствия защиты (рис. 2).

Полученные результаты анализа опыта пересечения горными выработками шахты им. А.А. Скочинского различных геомеханических зон подтверждают эффективность регионального способа предотвращения ДЯ – отработки защитных пластов и могут быть использованы для обоснования путей совершенствования мер борьбы с ДЯ при проведении выработок по выбросоопасным породам или вблизи них.

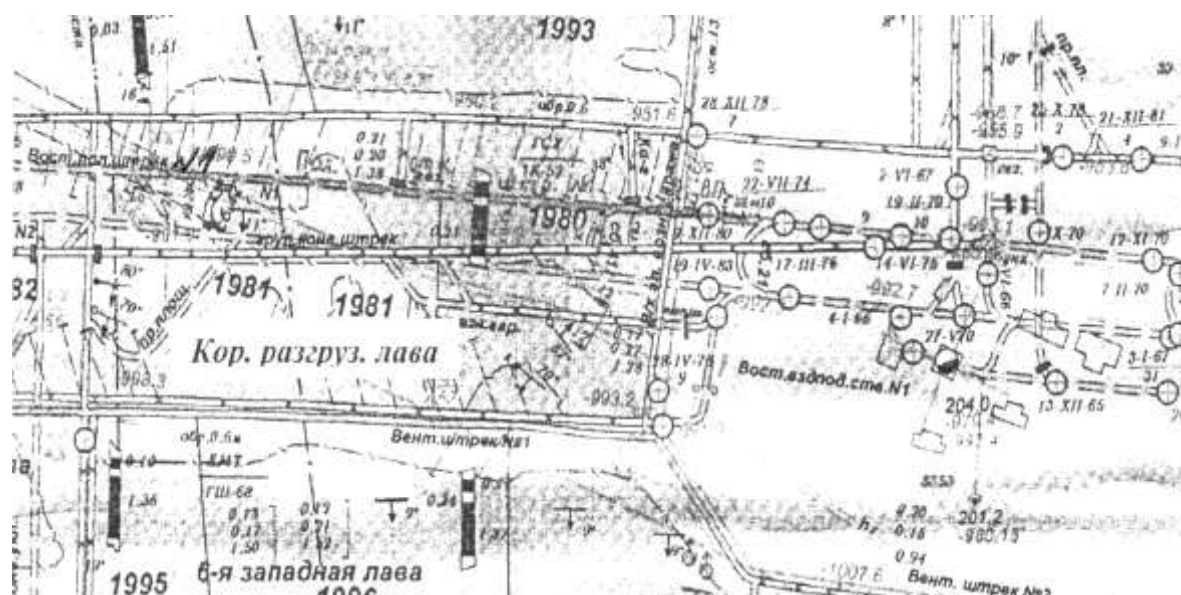


Рис. 2. Выкопировка из плана горных выработок по пласту h_6' с характеристикой защищенных и незащищенных зон

Так, для защиты, т. е. перевода в невыбросоопасное состояние участков проведения выработок по выбросоопасным породам (песчаникам) и мест вскрытия выбросоопасных пород горными выработками, следует предусматривать возможность применения локальной выемки защитных пластов в соответствии с требованиями [2].

При проведении пластовых подготовительных выработок по выбросоопасным породам, а также вблизи выбросоопасных пород (на расстоянии от них до 3,0 м по нормали) для предотвращения выбросов породы и газа также рекомендуется использовать эффект локальной выемки защитных пластов путем образования разгрузочной щели (полости) в угольном пласте или невыбросоопасном слое пород за счет опережающей выемки проходческим комбайном или отбойными молотками пласта или указанного слоя пород в пределах сечения выработки согласно [6]. Образование разгрузочной щели (полости) создаст разгружающее воздействие на выбросоопасный слой пород по аналогии с отработкой защитных пластов, тем самым устранив опасность возникновения ДЯ при последующей выемке (присечке) выбросоопасной породы (песчаника) в сечении выработки.

Накопленный опыт отработки защитного пласта h_6' для устранения опасности возникновения выбросов породы в условиях шахты им. А.А. Скочинского позволяет рекомендовать локальную выемку защитных пластов (по схеме надработки) в качестве регионального способа предотвращения ДЯ и для других угледобывающих предприятий, разрабатывающих

пласты пологого падения, на которых проводятся выработки по выбросоопасным породам.

ВЫВОДЫ

На основе базы данных информационно-аналитической программы регистрации выбросов породы и газа выполнена систематизация сведений о выбросах породы (выбросах песчаников), произошедших на шахте им. А.А. Скочинского при проведении подготовительных выработок в геомеханических зонах. Отсутствие выбросов породы в зонах, защищенных опережающей надработкой угольного пласта h_6' «Смоляниновский», подтвердило эффективность регионального способа предотвращения динамических явлений – отработки защитных пластов для устранения опасности проявления выбросов породы и газа.

Полученные результаты позволили обосновать пути совершенствования способов борьбы с выбросами породы и газа на основе применения опережающей отработки защитных пластов. В перспективе возможна корректировка действующей нормативной документации в части расчета и построения защищенных зон для обеспечения безопасности проведения выработок по выбросоопасным породам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утверждены Приказом Ростехнадзора от 10.12.2020. – № 515. – 96 с.
2. Руководство по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах». Утверждено Приказом Ростехнадзора от 07.12.2023 № 441. – 137 с.
3. Данные о выбросоопасности песчаников в Донбассе как основа для создания информационно-аналитической программы регистрации выбросов породы и газа / Р.М. Богоудинов, М.Ф. Рыжков, А.А.Черниговцева, А.Д. Бондаренко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МАКНИИ. – 2024. – Вып. 3(66). – С. 164-172.
4. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко. – Донецк: ООО "Восточный издательский дом", 2010. – 603 с.
5. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011–2005 – Офиц. изд. – Киев,

2005 – 222 с.

6. Кудинов Ю.В. Прогноз и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах / под ред. д-ра техн. наук Ю.В. Кудинова и канд. техн. наук Т.Я. Мхатвари; Ю.В. Кудинов, Н.В. Малеев, О.А. Демченко, В.А. Безбородов, Т.Я. Мхатвари. – Донецк, 2018. – 404 с.

Получено: 20.07.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.831

**R.M. BOGOUDINOV, head of department,
M.F. RYZHKOV, head of laboratory,
A.D. BONDARENKO, senior research worker,
A.A. CHERNIGOVTSOVA, senior research worker,
L.M. LEVCHENKO, engineer; GBU MAKNI, Makeyevka**

**APPLICATION OF PILOT WORKING OF PROTECTIVE
SEAMS FOR PREVENTION OF ROCK AND GAS OUTBURSTS
IN SETTINGS OF THE MINE NAMED IN HONOR OF
A. A. SKOCHINSKIY**

The analysis of reference documentation relating to methods for prevention of rock and gas outbursts during working development in explosion-hazardous rocks has been carried out. Data classification and analysis concerning the manifestation of explosion hazard of rocks in the mine named in honor of A. A. Skochinskiy by crossing of geomechanics zones with workings have been carried out. The opportunities for improvement of methods of combating rock and gas outbursts are justified, which reduce the hazard of manifestation of this type of dynamic conditions.

Keywords: rock and gas outburst, geomechanics zone, information and analytical program, mining safety.

УДК 622.817

В.В. ДЕНЬГА, зав. лаб.,
Е.В. ТЕРЕНТЬЕВА, науч. сотр.,
Р.О. СОБОЛЕВ, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О СПОСОБНОСТИ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ ГАСИТЬ ФРОНТ ПЛАМЕНИ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Проанализированы физико-химические свойства компонентов в ингибиторных порошкообразных составах, используемых в заслонах для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей. В качестве новых компонентов ингибиторных составов предложены кристаллогидраты.

Ключевые слова: ингибиторные порошкообразные составы, заслоны, сравнительный анализ, кристаллогидраты, экспериментальные исследования, фронт пламени, пылевоздушные смеси.

Взрывы пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах являются наиболее тяжелыми авариями по уровню травматизма и материального ущерба. Для снижения тяжести последствий аварий применяются автоматические и пассивные заслоны, препятствующие распространению фронта пламени по горным выработкам. Эффективность заслонов зависит от огнетушащих веществ, которыми они оснащены. В настоящее время в заслонах используются различные химические вещества: вода, водные солевые растворы, инертная пыль, а также огнетушащие порошки.

Огнетушащая способность порошков обусловлена: охлаждением зоны горения за счет нагрева частиц порошка; частичным испарением и разложением в пламени; разбавлением горючей среды газообразными продуктами; эффектом огнепреграждения; ингибированием химических реакций газообразными продуктами разложения [1]. Основу применяемых порошков составляют такие компоненты, как хлористый натрий (используется в ингибиторных составах типа ПВХ-1, КСВ-30 и т.д.), карбонат и/или гидрокарбонат натрия (составы ПСБ-3, ПСБ-ТМ), аммоний фосфат, сульфат аммония или аммофос (составы П-2АП, П-АГС, ВЕКСОН-АВС-50, ИСТО-1 и т.д.), и др. Минимальная флегматизирующая концентрация указанных порошков составляет от 10 до 134 г/м³. Эти пределы концентрации для гашения фронта пламени метановоздушных смесей (МВС) были получены опытным путем [2, 3], однако гашение фронта пламени пылевоздушных смесей (ПВС) с использованием порошков недостаточно изучено. Кроме того, входящий в состав ингибиторных порошков типа ПВХ-1 и

КСВ-30 хлористый натрий, является как хорошим ингибитором для МВС, так и катализатором вспышек угольной пыли, что установили исследования [4]. Последние показали, что с повышением температуры до 1080°C чистая угольная пыль не взрывается. Однако при содержании хлористого натрия 3% в смеси с угольной пылью ее взрывчатость достигает максимума и затем снижается, оставаясь взрывчатой на всем исследуемом диапазоне. При температурах 1110°C и 1150°C чистая пыль и пыль с добавками хлористого натрия взрывчатая во всем исследуемом диапазоне. Взрывчатость пыли уменьшается по мере роста концентрации хлористого натрия в смеси, однако при содержании последнего от 3% до 4% наблюдается ее рост. Таким образом, ингибиторные составы, содержащие хлористый натрий, не могут в одинаковой степени эффективно гасить и фронт пламени МВС и пылевоздушной смесей.

Цель работы – информирование специалистов, занимающихся созданием огнетушащих материалов для оснащения заслонов, об использовании веществ, содержащих кристаллизованную воду.

Горение угольной пыли или пиролиз происходит на ее поверхности, а догорание – в газовой фазе с выделением большого количества тепла. Поэтому дальнейшее повышение эффективности применяемых ингибиторных порошковых составов может быть достигнуто за счет механизмов гашения фронта пламени, связанных с охлаждением зоны горения эндотермическими реакциями разложения и разбавлением горючей пылегазовоздушной смеси выделяющимися парами воды. Этот эффект может быть достигнут за счет применения в порошковых составах кристаллогидратов солей, способных значительно снижать температуру зоны реакции за счет связанных молекул кристаллизационной воды.

В настоящее время для тушения пожаров классов А и В все чаще применяются огнетушащие порошки на основе кристаллогидратов щелочных металлов. Пожаротушащий эффект достигается за счет сохранения кристаллизационной воды в первоначальном количестве и выделение ее в процессе термического разложения кристаллогидрата, сопровождаемого эндотермическим эффектом и разбавлением горючих газов в зоне горения водяным паром [5]. Горение угольной пыли в начальной стадии также можно отнести к классу пожара А, так как идет процесс ее тления. Для оценки эффективности применения кристаллогидратов необходимо учитывать, что физико-химические процессы горения или тления отличаются от процессов, происходящих при взрыве. Поэтому ингибиторные составы, применяемые при гашении огня, могут оказаться не самыми эффективными в условиях локализации взрыва. В [6] показано, что при температуре до 2000°C эффект ингибирования уже недостаточен для локализации очага. В этом случае, необходимо очень быстро отвести из реакционной зоны хи-

мическую часть энергии, и для этих целей лучше всего использовать компоненты, обладающие низкой температурой разложения и большим теплопоглощением или эндотермическим эффектом. В табл. 1 приведены температура и удельная теплота разложения ингибиторов и флегматизаторов, в том числе, и некоторых кристаллогидратов [7].

Таблица 1

Температура и удельная теплота разложения
ингибиторов и флегматизаторов

Наименование ингибитора (флегматизатора)	Температура раз- ложения, °С	Удельная теплота разложения, Дж/г
Хлористый натрий, $NaCl$	801 плавление	490 расплавление
Гидрокарбонат натрия (сода), $NaHCO_3$	200	747
Аммофос, $NH_4H_2PO_4 \cdot (NH_4)_2HPO_4$	91	~900
Сульфат алюминия, 18-водный, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	86,5	~1500
Хлористый алюминий, 6-водный, $AlCl_3 \cdot 6H_2O$	100 плавление	936
Фосфат магния-аммония, 6-водный, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$	100	~1200

Анализ табл. 1 показал, что процесс разложения кристаллогидратов происходит при более низкой температуре с поглощением большого количества тепла из зоны реакции, чем хлористого натрия и соды. Следовательно, процесс разложения кристаллогидратов происходит быстрее, чем других солей-ингибиторов. Кристаллогидраты за счет разложения на первом этапе за короткий период времени отводят из зоны горения пылегазовоздушной смеси во фронте пламени большую часть тепла, позволяя более эффективно другим компонентам порошков – ингибиторов прерывать реакции взрывного разложения метана, его гомологов и непредельных углеводородов. Для подтверждения данной теории авторами были проведены исследования для определения способности некоторых химических веществ, в том числе и кристаллогидратов, гасить фронт пламени ПВС.

В качестве источника воспламенения навески угольной пыли или ее смеси с исследуемыми веществами использовалась спираль из нихрома, нагреваемая до температуры 1150°С.

Для исследований применяли измельченную угольную пыль из пла-

ста m_3 «Макеевский» с содержанием летучих – 31,6%, золы – 16,1%, влаги – 0,9%. Дисперсность угольной пыли составляла: остаток на сите №15 – не более 8,8%; проход через сито № 76 по ГОСТ 4403 – не менее 66%. Перед испытанием угольную пыль и исследуемые вещества предварительно сушили в сушильном шкафу при температуре 50°C в течение 1 часа. Смешивание угольной пыли и исследуемых веществ осуществлялось вручную.

Для исследований на стенде готовили контрольную пробу пыли, и пробы угольной пыли с солями-ингибиторами в разном процентном соотношении. Из каждой пробы брали по 10 навесок массой 0,7 г и определяли длину факела пламени и рассчитывали его среднюю длину. Чем меньше последняя, тем эффективнее исследуемая соль-ингибитор гасила вспышку угольной пыли. Соль считали выдержавшей испытание при отсутствии факела пламени или если длина факела в среднем составляла от 5 до 10 мм в 10 проведенных опытах.

Были исследованы 15 разных ингибиторов и флегматизаторов для определения их способности гашения вспышки угольной пыли с учетом физико-химических свойств, стоимости и доступность этих химических соединений. Наименование ингибиторов и флегматизаторов, их свойства [8, 9] приведены в табл. 2.

В табл. 2 представлены и некоторые кристаллогидраты, мольная теплота которых превышает теплоты стандартных ингибиторов.

Таблица 2

Свойства ингибиторов и флегматизаторов

Наименование ингибитора или флегматизатора	Молекулярный вес, г/моль	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °C	Мольная теплота, Дж/моль·град.
1	2	3	4	5
Натрий углекислый $Na_2CO_3 \cdot H_2O$	124,02	2,25	100,0 – H_2O	87,72
Хлористый натрий $NaCl$	58,45	2,163	800,4	50,79
Аммоний хлористый NH_4Cl	53,50	1,53	350,0 возгорание	84,10
Мел $CaCO_3$	100,09	2,71	825	81,85
Карбамид (мочевина) $CO(NH_2)_2$	60,06	1,335	132,7	-
Оксалат аммония $(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	142,12	1,501	-	-
Оксалат калия $K_2C_2O_4 \cdot H_2O$	184,23	2,13	разложение	-

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Доломитная (инертная) пыль $CaCO_3 \cdot MgCO_3$	184,42	-	-	157,37
Натрий-аммоний фосфорнокислый $NaNH_4HPO_4 \cdot 4H_2O$	209,09	1,554	79,0 разложение	575,07
Магний фосфорнокислый двухзамещенный $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$	174,36	2,10	-	-
Аммоний фосфорнокислый двухзамещенный $(NH_4)_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	186,7	2.21	-	-
Сульфат натрия $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$	268,18	-	-	121,0
Алюминий сернокислый $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	666,43	1,69	86,5 разложение	259,3
Хлорид алюминия $AlCl_3 \cdot 6H_2O$	241,44	2,4	-	89,1
Алюмоаммонийные квасцы $NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	453,33	1,64	93,5	226,40

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследований ингибиторов и флегматизаторов

Наименование ингибитора или флегматизатора	Содержание ингибитора или флегматизатора в смеси с угольной пылью, %						
	30	40	50	60	70	80	100
	Длина факела пламени, мм						
1	2	3	4	5	6	7	8
Натрий углекислый	63	38	12	10	0	0	0
Хлористый натрий	123	92	81	79	71	57	48
Аммоний хлористый	144	120	107	81	58	32	29
Мел	83	61	25	8	0	0	0
Карбамид	184	163	192	198	243	259	340
Оксалат аммония	64	32	17	0	0	0	0
Оксалат калия	80	67	20	4	0	0	0

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Доломитная (инертная) пыль	75	50	36	21	10	0	0
Натрий-аммоний фосфорнокислый	27	0	0	0	0	0	0
Магний фосфорнокислый двухзамещенный	75	43	5	0	0	0	0
Аммоний фосфорнокислый двухзамещенный	13	0	0	0	0	0	0
Сульфат натрия	47	12	0	0	0	0	0
Алюминий сернокислый	0	0	0	0	0	0	0
Хлорид алюминия	3	0	0	0	0	0	0
Алюмоаммонийные квасцы	22	4	0	0	0	0	0

Представленные в табл. 3 результаты испытаний показывают, что исследуемые химические вещества в разной степени гасят фронт пламени ПВС. Например, углекислая соль натрия (сода) является более эффективным флегматизатором для предотвращения взрыва угольной пыли, чем хлориды натрия и аммония. Для гашения фронта пламени ПВС необходимо содержание около 60 % соды в смеси с угольной пылью, а хлориды не гасят факел пламени.

Как показали выполненные авторами исследования, наиболее эффективными флегматизаторами предотвращения взрыва ПВС являются кристаллогидраты. Для гашения вспышек угольной пыли необходимо от 30% до 50 % их содержания в смеси с угольной пылью. В то же время для широко применяемой в заслонах инертной пыли ее требуется порядка 80 % в смеси.

Общий ряд исследованных ингибиторов и флегматизаторов по эффективности гашения фронта пламени взрыва угольной пыли выглядит так (в порядке возрастания): мочевины < хлористый натрий < аммоний хлористый < инертная пыль < натрий углекислый < мел < оксалат калия < оксалат аммония < магний фосфорнокислый двухзамещенный, кристаллогидрат < сульфат натрия, кристаллогидрат < алюмоаммонийные квасцы < аммоний фосфорнокислый двухзамещенный, кристаллогидрат < хлорид алюминия, кристаллогидрат < алюминий сернокислый, кристаллогидрат. Наибольший интерес для проведения дальнейших исследований представляют собой кристаллогидраты хлористых и сернистых солей алюминия.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования по-

казали, что кристаллогидраты значительно эффективнее гасят фронт пламени ПВС, чем соли, применяемые в настоящее время в ингибиторных порошкообразных составах.

ВЫВОДЫ

Проанализированы физико-химические свойства компонентов в ингибиторных порошкообразных составах, используемых в заслонах для локализации взрывов пылевоздушных смесей, и в качестве новых компонентов предложены кристаллогидраты. Проведены экспериментальные исследования, показавшие способность кристаллогидратов, содержащих кристаллизованную воду, эффективнее гасить фронт пламени.

Для дальнейших исследований определены наиболее эффективные кристаллогидраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснянский М.Е. Порошковая пожаровзрывозащита / М.Е. Краснянский. – Донецк: Общество книголюбов, 1994. – 152 с.
2. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок: учеб. пособие для вузов / Н.Р. Шевцов. – Донецк: Норд-пресс. – 2002. – 280 с.
3. Заключение о возможности применения огнетушащего порошка ИСТО-1 для снаряжения автоматических систем взрывоподавления и локализации взрывов (АСВП-ЛВ) / НЦ ВостНИИ. – Кемерово, 2006. – 3 с.
4. Петрухин П.М. Разработать автоматическую защиту против распространения пламени взрыва метана и угольной пыли в шахтах / П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, Е.П. Плоскоголовый. Тема №12/06: техн. отчет. – Макеевка-Донбасс, 1973. – 221 с.
5. Пат. № 2792529С1 Российская Федерация. Способ получения огнетушащего порошкового состава охлаждающего воздействия / В.Н. Стрельников, В.А. Вальцифер; заявитель и патентообладатель ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН. – № 2792529С1; заявл. 16.05.2022; опубл. 22.03.2023. Текст: электронный //URL:<https://patents.google.com/patent/RU2792529C1/ru> (дата обращения 11.08.2025).
6. Краснянский М.Е. Предотвращение и подавление взрывов метано-пылевоздушных смесей в угольных шахтах с помощью специальных порошков-ингибиторов / М.Е. Краснянский // Безопасность жизнедеятельности. – 2006. – № 8. – С. 9-13.
7. Справочник химика. Основные свойства неорганических и органических соединений. – Ленинград: Ленинградское отд-ние изд-ва «Хи-

мия», 1964. – Том II. – 1168 с.

8. Безопасность работ и охрана труда в угольных шахтах / Ю.В. Кудинов, Н.В. Малеев, В.А. Безбородов, Т.Я. Мхатвари; под ред. д-ра техн. наук Ю.В. Кудинова и канд. техн. наук Т.Я. Мхатвари. – Донецк: ФЛП Муравецкий О.Н., 2021. – 256 с.

9. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Ханин. – Ленинград: Ленинградское отд-ние изд-ва «Химия», 1978. – 392 с.

Получено: 29.08.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.817

V.V. DENGА, head of laboratory,

E.V. TERYTYEVA, research worker,

R.O. SOBOLEV, engineer; GBU MAKNIИ, Makeyevka

THE CAPACITY OF CRYSTALLINE HYDRATES FOR EXTINGUISHING OF FLAME FRONT OF AIR-AND-DUST MIXTURES

In this research paper the physical and chemical properties have been analyzed of components in inhibitory powder formulations used in barriers for explosion isolation of dust-gas-air mixtures. Crystalline hydrates are suggested as the new components of inhibitory formulations.

Keywords: inhibitory powder formulations, barriers, comparison study, crystalline hydrates, investigational studies, flame front, air-and-dust mixtures.

УДК 622.8**Н.Л. МУСАТОВА, ученый секретарь,
Л.И. ЯМНЮК, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка****О ТРЕБОВАНИЯХ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
БАЛЛОНОВ СО СЖАТЫМИ И СЖИЖЕННЫМИ ГАЗАМИ
ДЛЯ ЗАКРЫВАЮЩИХСЯ И ГИДРОЗАЩИТНЫХ ШАХТ**

Разработаны требования охраны труда при хранении, транспортировке и эксплуатации баллонов со сжатыми и сжиженными газами на закрывающихся и гидрозащитных шахтах, входящих в состав ГУП ДНР «Главное управление реструктуризации шахт», внедрение которых позволит снизить уровень производственного травматизма и аварийности.

Ключевые слова: требования, охрана труда, хранение, транспортировка, хранение, гидрозащитная шахта, безопасность.

Эксплуатация, хранение и транспортировка баллонов со сжатыми и сжиженными газами (баллоны) представляет опасность, заключающуюся в возможности взрыва или утечки газа. Аварии с баллонами происходят редко, но их взрывы приводят к большим разрушениям и травматизму людей. Основные причины аварий – нарушение правил безопасности при хранении, эксплуатации и транспортировке баллонов.

Цель работы – разработать требования к хранению, транспортировке и эксплуатации баллонов со сжатыми и сжиженными газами на закрывающихся и гидрозащитных шахтах, входящих в состав ГУП ДНР «ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ШАХТ».

Согласно ст. 21 Трудового Кодекса Российской Федерации [1] работник имеет право на рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда (ОТ) и условиям, предусмотренным коллективным договором.

В п. 3 [2] установлены требования промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением.

Эксплуатация баллонов должна производиться в соответствии с требованиями инструкции предприятия, утвержденной в установленном порядке. Работники, обслуживающие баллоны, должны пройти проверку знаний инструкции и иметь удостоверение о допуске к самостоятельной работе, выданное в установленном порядке.

При эксплуатации баллонов не допускается расходовать находящийся в них газ полностью. Для конкретного типа газа, с учетом его свойств, остаточное давление в баллоне устанавливается в инструкции по эксплуатации и должно быть не менее 0,05 МПа, если иное не предусмотрено техническими условиями на газ.

В случае неисправности вентилей заполненные баллоны возвращают на наполнительную станцию отдельно от пустых с нанесением на них соответствующей временной надписи любым доступным способом, не нарушающим целостность корпуса баллона. Выпуск газа из таких баллонов на наполнительной станции должен быть произведен в соответствии с инструкцией, утвержденной в установленном порядке.

Баллоны с газами, за исключением баллонов с ядовитыми газами, должны храниться как в специальных помещениях, так и на открытом воздухе, при этом они должны быть защищены от атмосферных осадков и солнечных лучей. Хранение в одном помещении баллонов с кислородом и горючими газами запрещается. Баллоны с ядовитыми газами должны храниться в специальных закрытых помещениях. При укладке баллонов в штабеля высота последних не должна превышать 1,5 метра, вентили баллонов должны быть обращены в одну сторону.

Склады для хранения баллонов должны соответствовать проекту, разработанному в установленном порядке.

Склады для баллонов, наполненных газом, должны иметь естественную или искусственную вентиляцию и находиться в зоне молниезащиты.

Эксплуатировать баллоны необходимо в соответствии с требованиями инструкции. При обнаружении утечки газа из баллона необходимо немедленно сообщить об этом непосредственному руководителю работ.

На сварочном посту при выполнении работ должно быть одновременно не более двух баллонов: с кислородом и горючим газом.

Перед пуском газа из баллона необходимо проверить правильность соединения баллона с редуктором и установкой, затем, включив приточно-вытяжную вентиляцию, открыть вентиль баллона и отрегулировать редуктором по манометру требуемое давление.

При эксплуатации баллонов не допускается:

- оставлять баллон без присмотра с незакрытым вентилем;
- устанавливать в горизонтальное положение баллоны со сжиженными;
- расходовать находящийся в них газ полностью;
- ремонтировать редуктор, установленный на баллоне, а также само-

стоятельно ремонтировать вентиль баллона.

Обращаться с пустыми баллонами из-под кислорода и из-под горючих газов необходимо с соблюдением мер безопасности, что и при обращении с наполненными баллонами.

При производстве ремонтных или монтажных работ баллон со сжатым кислородом допускается укладывать на землю, обеспечивая:

- расположение вентиля выше башмака баллона и недопущение его перекатывания;
- размещение верхней части баллона на прокладке, выполненной из материала, исключающего искрообразование.

В холодное время и при большом отборе газа необходимо отогревать вентиль или редуктор тканью, смоченной чистой горячей водой. Применение для отогревания открытого огня или пара запрещается.

Наличие неплотностей в редукторе или вентиле баллона проверяют мыльной пеной. Применение для этой цели огня категорически запрещается.

При любой неисправности редуктора необходимо немедленно закрыть вентиль баллона, выпустить из редуктора газ и устранить неисправность.

Требования при работе с баллонами с кислородом:

- баллоны с кислородом устанавливаются в местах, исключающих воздействие на них масла, жира и промасленных тряпок,
- вентили в баллонах для кислорода должны устанавливаться с использованием уплотняющих материалов, возгорание которых в среде кислорода исключено,
- не допускается резкое открывание вентиля.

Дополнительные требования безопасности при транспортировке и эксплуатации кислородных баллонов при ведении огневых работ в подземных горных выработках гидрозащитных шахт:

- после доставки кислородного баллона и оборудования на верхнюю приемно-отправительную площадку ствола, ответственный за ведение огневых работ в горных выработках предоставляет ответственному работнику по спуску и подъему грузов и людей в шахту пропуск и с его разрешения организовывает погрузку носилок с кислородным баллоном в клеть при спуске по вертикальному стволу или в специальную вагонетку, предназначенную для перевозки кислородных баллонов при спуске по наклонному стволу. Спуск работников, которые будут вести огневые работы, должен осуществляться в отдельной клетке или людской вагонетке;

- доставленный в шахту кислородный баллон необходимо транспор-

тировать к месту ведения огневых работ на специальных носилках, а в отдаленные выработки – в специальной вагонетке,

– на месте ведения огневых работ кислородный баллон устанавливается на расстоянии не менее 5 м от этого места в вертикальном положении в специально подготовленном гнезде.

Требования охраны труда при работе с баллонами с ацетиленом:

– для открывания вентиля ацетиленового баллона и для управления редуктором у работника должен быть специальный торцевой ключ искробезопасного исполнения. Во время работы этот ключ должен находиться на шпинделе вентиля баллона;

– в случае обнаружения утечки газа через сальник ацетиленового вентиля после присоединения редуктора, подтягивание сальников производится при закрытом венти́ле.

ВЫВОДЫ

Разработанные требования по охране труда при хранении, транспортировке и эксплуатации баллонов со сжатыми и сжиженными газами для гидрозащитных и закрывающихся угольных шахт, входящих в состав ГУП ДНР «Главное управление реструктуризации шахт», позволят снизить уровень производственного травматизма и аварийности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [Принят Государственной Думой 21.12.2001, одобрен Советом Федерации 26.12.2001] – Текст электронный // Consultant.ru [сайт] -https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 11.04.2025).

2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правил промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением" [Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ от 15.12.2020 № 536] – Текст электронный // Souzgaz.ru [сайт] -https://souzgaz.ru/upload/Pravila_promyshlennoj_bezopasnosti_pri_ispolzovanii_oborudovaniya_rabotajushhego_pod_izbytochnym_davleniem.pdf/ (дата обращения 08.04.2025).

Получено: 10.07.2025

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.8

N.L. MUSATOVA, *scientific secretary,*

L.I. YAMNYUK, *engineer; GBU MAKNI, Makeyevka*

**LABOUR PROTECTION REQUIREMENTS DURING OPERATIONAL
USE OF COMPRESSED GAS AND LIQUID GAS CYLINDERS
FOR MINES UNDER LIQUIDATION AND SEAL SECTION MINES**

The labour protection requirements for storage, transporting and operation of compressed gas and liquid gas cylinders for mines under liquidation and seal section mines as a part of the state unitary enterprise of DPR General Office for Mine Survival have been developed; their implementation enables the reduction of total incidents rate and accident incidence rate.

Keywords: requirements, labour protection, storage, transporting, storage, seal section mine, safety.

УДК 622.6; 620.193.23

В.В. ЛОБОДА, канд. техн. наук, зав. лаб., академик МАНЭБ,
Н.А. БЕЛОНОСОВА, зав. отд.,
Е.В. ВЕРЕЩАГИНА, науч. сотр.,
Н.В. МАНЕЦ, мл. науч. сотр.,
В.А. ШЕПЕЛЕВА, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ШАХТНЫХ ПЕРЕДВИЖНЫХ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Предоставлены результаты исследований эффективности аварийной защиты шахтных передвижных винтовых компрессорных установок, показаны основные недостатки ее работы при возникновении повышенных внутрикамерных температур и предложены меры их устранения.

Ключевые слова: передвижная компрессорная установка, исследования, недостатки, анализ, аварийная защита, шахта.

На предприятиях угольной промышленности широко применяются шахтные передвижные винтовые маслозаполненные компрессорные установки (ВКМШ), характеризующиеся повышенной пожароопасностью вследствие использования в качестве рабочей жидкости горючих нефтяных масел. Экспертными обследованиями ВКМШ установлено, что при работе установки происходит нагрев рабочей жидкости до аварийно опасных температур, приводящий, во многих случаях, к пожароопасным ситуациям, в том числе с тяжелыми последствиями. Поэтому к надежности и эффективности работы аварийной защиты компрессорных установок предъявляются повышенные требования [1].

Цель работы – определение причин возникновения аварийно опасных температур в рабочих полостях шахтного винтового маслозаполненного компрессора и разработка направлений для повышения эффективности работы системы аварийной защиты.

В результате проведенных специалистами ГБУ «МАКНИИ» экспертных обследований и исследований температурных нагрузок в полостях винтовых компрессоров (ВК) было установлено, что с увеличением времени эксплуатации ВКМШ и износа ряда узлов при эксплуатации в специфических шахтных условиях, возникает локальное повышение температуры, значительно превышающие аварийную температуру 125°C, при

которой в соответствии с ПБ компрессорная установка должна отключаться. Такое температурное повышение происходит, например, при трении торцов винтов о корпус компрессора, разрушении подшипниковых узлов в компрессоре, разрушении шестерен редуктора, при запаздывании подачи рабочей жидкости на впрыск в компрессор и к его узлам трения. Однако во многих случаях существующая аварийная защита ВКМШ не отключает своевременно привод компрессора, а возникающие неисправности приводят к выходу компрессора из строя, а иногда – к пожарам и взрывам.

Так, при трении торцов винтов о корпус компрессора, например, марки ЗИФ-ШВ-5М, в месте контакта температура достигает 450°C. Исследования показали, что температура прогрева сжимаемой среды (рабочего тела), а это маслотовоздушная смесь, может быть определена, исходя из следующих соображений. К рабочему телу, кроме тепла $dQ_{сж}$, подведенного при сжатии, подводится тепло dQ_n , обусловленное дополнительно теплом dQ_k , переданным через стенку корпуса компрессора и трения сжатого газа dQ_T о поверхность рабочей полости, образованной профильной поверхностью винта и корпусом:

$$dQ_n = dQ_k + dQ_T \quad (1)$$

Именно это количество тепла будет дополнительно разогревать сжимаемый воздух в рабочей полости, оказавшийся в данный момент времени $d\tau$ в месте контактного трения торца винта о корпус компрессора.

Проведенные исследования ВКМШ ЗИФ-ШВ-5М и УКВШ-5/7 показали, что количество тепла, отведенного от рабочего тела через стенку корпуса компрессора, на два порядка ниже общего количества тепла, выделившегося при сжатии воздуха, то есть величиной dQ_k можно пренебречь, приняв $dQ_k \approx 0$.

Значение dQ_T может быть определено по формуле [2]:

$$dQ_T = 167 C_k R_k \frac{P}{RT} \omega_1 d\tau, \quad (2)$$

где $C_k = 2,52 \cdot 10^{-3} \left(\frac{n_1}{1000} \right)^{2,64}$ – коэффициент, зависящий от количества оборотов n_1 ведущего ротора;

R_k – величина, характеризующая геометрию винтовой пары компрессора;

P, T – давление и температура газа в полости;

ω_1 – скорость вращения ведущего винта;

τ – время;

R – универсальная газовая постоянная.

Полагая, что тепло dQ_{T1} , выделившееся в месте аварийного контактного трения винта о корпус компрессора, будет полностью передано профильной поверхностью винта сжимаемому газу, находящемуся в контакте с нею, тогда $dQ_{T1} = dQ_T$

Кроме того, тепло dQ_{T1} может быть определено и по формуле, описывающей процесс трения металла о металл [3]:

$$dQ_{T1} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_{s1} - T_{s2}) \cdot S_B, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопередачи, Вт·м°К;

δ – толщина стенки, м;

T_{s1}, T_{s2} – температура горячей и холодной сторон стенки корпуса, °К;

S_B – площадь пятна контактного трения, м²;

Приравнявая $dQ_{T1} = dQ_T$, получим:

$$167 \cdot C_k \cdot R_k \cdot \frac{P_n}{R \cdot T_n} \cdot \omega_1 \cdot d\tau = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_{s1} - T_{s2}) \cdot S_B, \quad (4)$$

тогда

$$T_n = \frac{167 \cdot C_k \cdot R_k \cdot \frac{P_n}{R} \cdot \omega_1 \cdot d\tau}{\frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_{s1} - T_{s2}) \cdot S_B}, \quad (5)$$

где $C_k = 2.52 \cdot 10^{-3} (n_1 / 1000)^{2,64} = 0,0129$;

$\omega_1 = 5140$ об/мин = $85,6$ с⁻¹;

$R_k = 0,67$;

T_n, P_n – температура и давление в парной полости в конце процесса сжатия воздуха $P_n = 0,6$ МПа;

$T_s = T_{s1max} = 450^\circ\text{C}$ (723°K) – максимальная температура трения в

точке полного контакта ведущего винта с корпусом компрессора;

$S_{\text{в}}$ – площадь контакта торца винта с корпусом;

T_{s2} = от 80°C до 100°C – средняя рабочая температура сжатого воздуха в парной полости, перед началом его контакта с разогретой частью профильной поверхности ведущего винта;

λ = 45,4 Вт/мК (для стали 45);

R = 287 – универсальная газовая постоянная для воздуха;

τ_i – от 0,012 до 2,7 с – расчетное время передачи тепловой энергии потоком сжатого воздуха датчику температуры, расположенному в нагнетательном патрубке ВК.

Исследования T_n во времени τ в пределах от 0,012 до 2,7 с показали, что T_n не достигает аварийной температуры 125°C и защита не отключает компрессор, несмотря на температуру в месте трения 450°C. Это происходит потому, что аварийная защита ВКМШ, получая усредненные импульсы повышенной локальной температуры при разрушении узлов компрессора, не реагирует на них вследствие удаленного расположения датчиков температуры от мест возникновения температурных нарушений.

При установке датчиков температуры непосредственно в месте локального нарушения температурного режима, аварийную ситуацию удастся предотвратить, т.к. датчики своевременно срабатывают и отключают компрессор от электросети. Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности работы аварийной защиты является максимальное приближение датчиков аварийной защиты к возможным местам локального роста температуры до аварийных значений в ВК.

Кроме того, важным направлением повышения эффективности работы существующей аварийной защиты ВКМШ является использование современных малоинерционных датчиков.

В настоящее время на ВКМШ, например, ЗИФ-ШВ-5М и УКВШ-5/7 установлена инерционная система тепловой защиты с датчиками-реле температуры ДТР-3М-УТ, расположенная в массивных защитных корпусах на стороне нагнетания и всасывания ВК. Время срабатывания датчика при аварийной температуре масловоздушной смеси в нагнетательном патрубке ВК превышает 15 с, а иногда и более 30 с. За это время, как установлено в результате проведенных ГБУ «МАКНИИ» экспертных исследований вышедших из строя ВКМШ, в некоторых случаях происходит заклинивание винтов в корпусе компрессора, полное разрушение подшипниковых узлов и шестерен редуктора, микровзрывы и выгорание масловоздушной смеси в воздухохоборнике со встроенным маслоотделителем и др.

Важным направлением совершенствования и повышения эффективности аварийной защиты ВКМШ является также расширение ее контроль-

ных функций. Например, не только контроль уровня масла в маслосборнике, что характерно для существующей системы контроля и защиты, но и контроль подачи /расхода рабочей жидкости в рабочие полости и к узлам трения ВК, особенно в пусковых режимах работы. В процессе проведенных исследований ВКМШ установлено время запаздывания подачи масла из системы смазки к узлам трения и в полости сжатия в пусковых режимах работы. Например, для ВКМШ ЗИФ-ШВ-5М время запаздывания τ_3 может быть определено по [3]:

$$\tau_3 = 549,298 - 17,829 \cdot \left(\frac{T_{oc}}{K_o} - 273 \right), c \quad (6)$$

где T_{oc} – температура окружающей среды, °K;

K_o – переводной коэффициент.

Экспериментально установлено, что время запаздывания τ_3 в пусковых режимах работы, при холодном состоянии ВК, может составлять от 3 до 9 мин. Это приводит, в ряде случаев, к ускоренному выходу из строя подшипниковых узлов и шестерен редуктора. Время τ_3 зависит, в основном, от температуры окружающей среды и вязкости масла в системе смазки. Значительное запаздывание подачи масла приводит и к росту температурных нагрузок в ВК. Поэтому важным направлением совершенствования аварийной защиты ВКМШ является использование дополнительных технических устройств, позволяющих снизить тепловые нагрузки. Так, например, для предотвращения работы узлов трения ВК без смазки во время τ_n пускового режима, предлагается систему смазки снабдить дополнительной емкостью небольшого размера с маслом, подаваемым в систему практически в момент пуска ВК, при этом датчики аварийной защиты должны контролировать наличие масла в этой емкости [4]. Для снижения температуры в полостях сжатия предлагается установить специальные форсунки в месте впрыска рабочей жидкости в полости.

Чем больше количество жидкости g_p , находящейся в полостях ВК в распыленном состоянии, и больше дисперсность ее частиц, при одинаковом количестве рабочей жидкости G_m на впрыске, тем быстрее снижается конечная температура процесса сжатия в пусковом режиме. На рис. 1 приведена зависимость максимальной температуры T_{max} в полостях сжатия ВК от g_p и диаметра частиц d_n , на рис. 2 – изменение максимальной температуры T_{max} рабочего тела в пусковом режиме при изменении количества распыленной рабочей жидкости в полостях сжатия ВК.

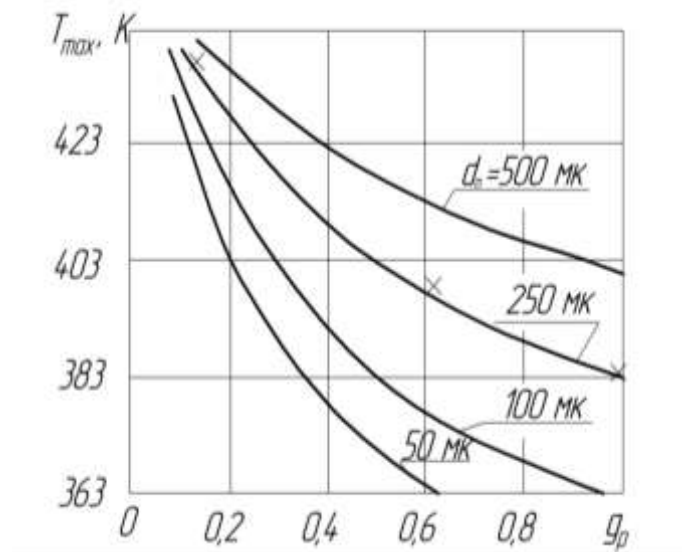


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры T_{max} в полости от количества распыленной жидкости g_p

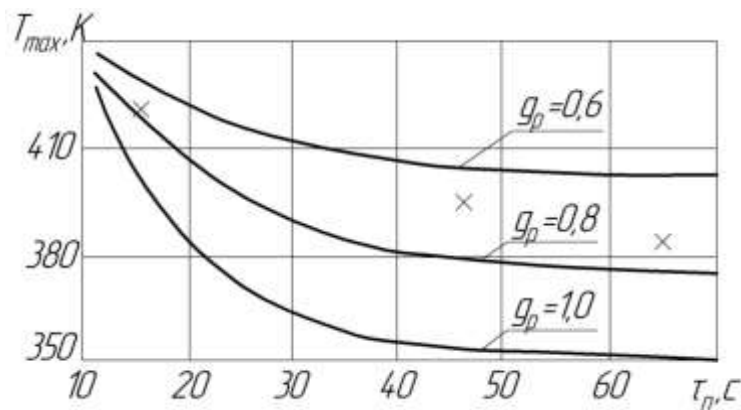


Рис. 2. Изменение максимальной температуры T_{max} рабочего тела в полости во времени τ_n

Предложены следующие основные направления совершенствования и повышения эффективности существующей аварийной защиты ВКМШ: максимальное приближение датчиков системы аварийной защиты к местам возникновения повышенных локальных температурных нарушений; применение малоинерционных датчиков; дополнительного контроля системы охлаждения и смазки ВК и технических устройств, позволяющих снизить тепловые нагрузки при различных режимах работы ВК и изменяющихся

температурных условиях окружающей среды.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования режимов работы ВКМШ показали, что при длительной эксплуатации в шахтных условиях в компрессоре возникают локальные температурные нарушения, в ряде случаев значительно превышающее аварийную температуру 125°C. Однако при этом существующая аварийная защита компрессорных установок не отключает ВК, как это предусмотрено ПБ и инструкцией по эксплуатации, и аварийная ситуация, во многих случаях, развивается до полного выхода из строя поврежденных узлов и всего компрессора, т.е. аварийная защита неэффективна.

Причины возникновения повышенных локальных температурных нарушений связаны, как правило, с ускоренным износом и выходом из строя рабочих узлов, таких как, подшипниковые, шестерни редуктора, системы охлаждения и смазки компрессора, и др.

Основными направлениями повышения надежности и эффективности функционирования аварийной защиты ВКМШ являются:

- максимальное приближение датчиков системы аварийной защиты к местам возникновения повышенных локальных температурных нарушений;
- применение малоинерционных датчиков с минимальным временем реакции на изменение величины контролируемых параметров;
- применение дополнительного контроля работы системы охлаждения и смазки ВК;
- применение дополнительных технических устройств, позволяющих снизить тепловые нагрузки при различных режимах работы ВК и изменяющихся температурных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОТ 10.0-1.01-16. (с изменениями, от 20.06.17 Приказ №157/291 Государственного Комитета Гортехнадзора ДНР, Министерства угля и энергетики ДНР). – Донецк 2016г., 4 ДНР. – 230 с.
2. Саун И.А. Винтовые компрессоры / И.А. Саун. – Л.: «Машиностроение», 1970. – 400 с.
3. Повышение пожаровзрывобезопасности передвижных шахтных компрессорных установок / В.В. Лобода, О.А. Демченко, Н.В. Манец, О.А. Франчук. // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий

труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МАКНИИ. – 2017. – Вып. № 1 (36). – С. 90 - 103.

4. А.с. 1247580 СССР, МКИ F04C18/16. Система смазки винтового компрессора / В.В. Лобода, В.И. Дегтярев. – № 3739715/2–06; заявл.11.05.84; опубл. 30.07.86, Бюл. № 28.

Получено: 02.07.25

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.6; 620.193.23

V.V. LOBODA, Ph. D. Eng., head of laboratory, member of the International Academy of Ecology, Man and Nature Protection Sciences (MANEB),

N.A. BELONOSOVA, head of department,

E.V. VERESHCHAGINA, research worker,

N.V. MANETS, junior research worker,

V.A. SHEPELEVA, engineer; GBU MAKNI, Makeyevka

expertiza.maknii02@mail.ru

**THE PROBLEM OF EFFICIENCY IMPROVEMENT
OF EMERGENCY PROTECTION SYSTEM
OF MINE MOBILE SCREW COMPRESSOR PLANTS**

This research paper presents the results of the research of efficiency of emergency protection system of mine mobile screw compressor plants, the main unsatisfactory features of its operation upon occurrence of high intrachamber temperatures are demonstrated and corrective measures are suggested.

Keywords: mobile compressor plant, researches, unsatisfactory features, analysis, emergency protection, mine.

УДК 622.673

А.И. ДЕМЕНКОВ, зав. лаб.,
Н.А. БЕЛЮНОВА, зав. отд.,
О.Г. БОЛТУНОВ, зав. лаб.,
Н.И. МАЙБЕНКО, мл. науч. сотр.,
А.В. ТОЛСТОВА, техн.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИНЕРТИЗАЦИИ ВЗРЫВООПАСНОЙ ШАХТНОЙ СРЕДЫ ГАЗООБРАЗНЫМ АЗОТОМ В МЕСТЕ ВЫЕМКИ УГЛЯ

Разработана математическая модель процесса инертизации взрывоопасной шахтной среды газообразным азотом в месте непосредственного разрушения угольного массива в забое очистной выработки при работе исполнительного органа очистного комбайна.

Ключевые слова: математическая модель, газообразный азот, очистная выработка, комбайн, разрушение угольного массива, инертизация взрывоопасной среды.

Выемка угля очистным комбайном иногда сопровождается воспламенением метана, угольной пыли и взрывом пылеметановоздушной смеси. Взрывозащитное орошение не позволяет в полной мере нейтрализовать воспламенение метана и предупредить взрыв угольной пыли [1,2,3]. Вопрос использования газообразного азота для инертизации пылеметановоздушной среды является актуальным, а разработка математической модели процесса инертизации в месте непосредственного разрушения угольного массива способствует повышению безопасности ведения горных работ.

Цель работы – разработать математическую модель процесса инертизации взрывоопасной пылеметановоздушной газообразным азотом в месте непосредственного разрушения угольного массива.

Для разработки математической модели процесса инертизации необходимо:

– определить объем полости $V_{\text{пол}}(t)$, образовавшейся после выемки угля, подлежащей инертизации газообразным азотом, и производительность A очистного комбайна [4]:

$$V_{\text{пол}}(t) = m \cdot r \cdot v, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (1)$$

где m – мощность угольного пласта, м;
 r – ширина захвата исполнительного органа, м;
 v – скорость подачи очистного комбайна, м.

$$A = \gamma \cdot m \cdot r \cdot v = \frac{30N \cdot \gamma \cdot m \cdot r \cdot \eta \cdot n_1}{\zeta \cdot D \cdot n_2 \cdot K_o \cdot K_\Sigma}, \quad (2)$$

где γ – плотность угля, т/м³;
 N – мощность электродвигателя комбайна, кВт;
 η – КПД редуктора привода подачи;
 n_1 – количество резцов в одной линии резания;
 n_2 – количество резцов, разрушающих уголь одновременно;
 ζ – средневзвешенная сопротивляемость угля резанию, кН/м;
 D – диаметр шнека, м;
 K_o – коэффициент отжима, учитывающий уменьшение сил резания вблизи забоя;
 $K_\Sigma = K_o \cdot K_\epsilon \cdot K_p \cdot K_f$ – коэффициент, учитывающий угол резания, ширину резца, затупление и форму резца;
– определить количество метана $I_{оч}$ (м³/мин), выделяющегося при разрушении угольного массива комбайном, с учетом дегазации отбитого угля [5]:

$$I_{оч} = A \cdot Z \cdot q_{оч}, \quad (3)$$

где $q_{оч}$ – метаноносность угольного пласта в зоне выемки, м³/т;
 Z – степень дегазации отбитого угля; для каменных углей 0,07;
 A – производительность очистного комбайна, т/мин.
– определить количество воздуха $Q_{оч}$ необходимое для проветривания полости, образующейся в процессе выемки угля исполнительным органом комбайна для нижнего и верхнего шнеков по формуле [6]:

$$Q_{оч} = \frac{(100 \cdot I_{оч} \cdot K_n)}{(C - C_0)}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (4)$$

где $Q_{оч}$ – расход воздуха в очистной выработке, м³/мин;
 K_n – коэффициент неравномерности метановыделения, определяется по формуле: $K_n = 1,94 \cdot I^{-0,14}$;
 C – концентрация метана в зоне работы исполнительного органа

комбайна, %;

C_o – концентрация метана в струе воздуха на входе в лаву, 0%.

– определяем концентрацию метана C в месте разрушения угольного массива отдельно для нижнего и верхнего шнеков очистного комбайна, используя формулу 4 [6]:

$$C = 100 \cdot I \cdot K_H / Q_{оч}, \quad (5)$$

где $Q_{оч}$ – количество воздуха, подаваемого в место непосредственного разрушения угольного массива:

$$Q_{оч} = S_n \cdot K_{но} \cdot V_{max} \cdot 60, \quad (6)$$

V_{max} – максимальная скорость воздуха в очистной выработке, 4 м/с;

$S_n = h \cdot r$ – площадь сечения угольного пласта, вынимаемого шнеком комбайна, м²;

$K_{но}$ – коэффициент, учитывающий отработку угольного пласта нижним и верхним шнеками [6]:

$K_{но} = 0,20$ – при работе нижнего шнека;

$K_{во} = 0,35$ – при работе верхнего шнека.

Затем определяем необходимое количество газообразного азота, подаваемого для инертизации шахтной атмосферы в полости, образовавшейся после выемки угля [6]. Так, если расчетная концентрация кислорода в этой полости более 12%, то количество газообразного азота $m_{N_2}(t)$, подаваемого в полость в единицу времени от азотно-компрессорной станции, рассчитывается по заданной объемной доли кислорода:

$$m_{N_2}(t) = \frac{V_{пол}(t) \cdot (\varphi_{O_2}^p - \varphi_{O_2}^3)}{\varphi_{O_2}^3}, \quad (7)$$

где $m_{N_2}(t)$ – количество азота, подаваемого в единицу времени, необходимое для заполнения полости, м³/мин;

$V_{пол}(t)$ – объем полости, подлежащий инертизации азотом во время работы очистного комбайна, м³/мин;

$\varphi_{O_2}^p = \varphi_{O_2} - \varphi_{CH_4}^p$ – расчетная концентрация кислорода с учетом выделившегося метана, %;

$\varphi_{O_2} = 21\%$ – концентрация кислорода в шахтном воздухе;

$\varphi_{O_2}^3 = 10\%$ – концентрация кислорода в полости, подлежащая замещению.

Подача газообразного азота для инертизации полости в процессе выемки угля осуществляется от азотно-компрессорной станции мембранного типа. Если расчетная концентрация метана $\varphi_{CH_4}^p = C/100$, %, выделившегося в полость, образовавшуюся после выемки угля, больше концентрации кислорода, тогда количество подаваемого газообразного азота в единицу времени $m_{N_2}(t)$ для инертизации шахтной атмосферы рассчитывается по заданной концентрации метана:

$$m_{N_2}(t) = \frac{V_{пол}(t) \cdot (\varphi_{CH_4}^p - \varphi_{CH_4}^3)}{\varphi_{CH_4}^3}, \quad (8)$$

где $m_{N_2}(t)$ – необходимое количество газообразного азота, подаваемого в полость, образовавшуюся в процессе выемки угля, м³/мин;

$\varphi_{CH_4}^p$ – расчетная концентрация метана, выделившегося в полость, %;

C – концентрация метана в образовавшейся полости, %;

$\varphi_{CH_4}^3$ – заданная концентрация метана, %.

На основании полученной математической модели рассчитано количество газообразного азота, необходимое для инертизации полости, в зависимости от мощности m угольного пласта, например, $m = 1,0$ м, ширины r (0,63 м; 0,80 м; 1,00 м) захвата исполнительного органа комбайна и скорости v его подачи от 1,0 до 10,0 м/мин (таблица).

ВЫВОДЫ

Математическая модель процесса инертизации взрывоопасной шахтной среды в забое очистной выработки подачей необходимого количества газообразного азота в зависимости от скорости подачи очистного комбайна, ширины захвата исполнительного органа, мощности вынимаемого пласта и количества выделившегося метана повысит безопасность труда при выемке угля и увеличит производительность очистной техники.

В таблице приведен расчет для скорости подачи исполнительного органа от 1,0 до 3,0 м/мин и от 8,0 до 10,0 м/мин. На графике приведена зависимость количества газообразного азота, подаваемого в образовавшуюся полость, в зависимости от количества выделившегося метана при скорости

подачи комбайна от 1,0 до 10,0 м/мин (рисунок).

Таблица

Количество газообразного азота, подаваемого в образовавшуюся полость,
в зависимости от выделившегося метана при ширине захвата шнека, м:

1 строка – 0,63; 2 строка – 0,8; 3 строка – 1,0

Мощность угольного пласта 1 м												
Скорость комбайна, м/мин												
1	2		3		8		9		10			
Кол-во метана I , м ³ /мин	Кол-во подаваемого азота N_2 , м ³ /мин	Кол-во метана I , м ³ /мин	Кол-во подаваемого азота N_2 , м ³ /мин	Кол-во метана I , м ³ /мин	Кол-во подаваемого азота N_2 , м ³ /мин	Кол-во метана I , м ³ /мин	Кол-во подаваемого азота N_2 , м ³ /мин	Кол-во метана I , м ³ /мин	Кол-во подаваемого азота N_2 , м ³ /мин	Кол-во метана I , м ³ /мин	Кол-во подаваемого азота N_2 , м ³ /мин	Кол-во метана I , м ³ /мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	0,613	0,285	1,128	0,43	1,237	1,14	2,82	1,29	3,41	1,42	4,43	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0,180	0,795	0,360	1,450	0,54	1,990	1,45	3,35	1,63	4,50	1,81	5,63	
0,227	0,996	0,450	1,814	0,68	2,510	1,81	4,14	2,04	5,33	2,27	6,81	



Рисунок – График зависимости количества газообразного азота от количества выделившегося метана

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». – Серия 05. – Вып. 40. – Москва: Научный центр исследования проблем промышленной безопасности, 2014. – 200 с.
2. ГОСТ Р 57071-2016. Нормативы безопасности применения машин и оборудования на угольных шахтах и разрезах по пылевому фактору: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2016-09-16 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 22 с.
3. Нормативы по безопасности забойных машин, комплексов и агрегатов. – Макеевка, 1990. – 102 с.
4. Ордин А.А. Оптимизация ширины захвата очистного комбайна при подземной разработке пологих метаноопасных угольных пластов / А.А. Ордин, А.М. Тимошин, Д.В. Ботвиненко. – Москва: Российская академия наук ФТПРПИ. – 2019. – № 6. – С. 91-102.
5. Бобров А.И. Борьба с местными скоплениями метана в угольных шахтах / А.И. Бобров. – Москва: Недра, 1988. – С. 91-102.
6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев, 1994. – 312 с.

Получено: 14.07.2025

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.673

**A.I. DEMENKOV, head of laboratory,
N.A. BELONOSOVA, head of department,
O.G. BOLTUNOV, head of laboratory,
N.I. MAYBENKO, junior research worker,
A.V. TOLSTOVA, technician; GBU MAKNI, Makeyevka**

MATHEMATICAL MODEL OF INERTING PROCESS OF EXPLOSIVE MINE ENVIRONMENT WITH GASEOUS NITROGEN AT A COAL EXCAVATION LOCATION

A mathematical model has been developed of inerting process of explo-

sive mine environment with gaseous nitrogen at a location of direct rock destruction in a stope during the operation of executive organ of the face shearer.

Keywords: mathematical model, gaseous nitrogen, stope, shearer, rock destruction, inverting of explosive environment.

УДК 622.817

**И.Ю. ГОЛИК, мл. науч. сотр.,
В.В. ДЕНЬГА, зав. лаб.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка**

О СРЕДСТВАХ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Выполнен анализ отечественных и зарубежных способов и устройств для локализации взрывов газо- и пылегазовых смесей в угольных шахтах и выявлены их недостатки.

Ключевые слова: угольные шахты, заслон, способы и устройства для локализации взрывов, пылегазовые смеси.

Работы, проводимые в горных выработках угольных шахт, сопровождаются взрывами газа и/или угольной пыли, приводящими к многочисленным жертвам и значительным разрушениям. Для предотвращения аварий шахты оборудованы средствами для локализации взрывов, препятствующими распространению фронта пламени по горным выработкам, не позволяя воспламенять взрывоопасные скопления метана и угольной пыли. Наиболее распространенными средствами локализации взрывов являются сланцевые и водяные полочные заслоны. Однако, как показал опыт эксплуатации, они обладают рядом недостатков, основной из которых, время срабатывания, зависящее от действия ударной воздушной волны. Поэтому актуальной является задача совершенствования средств для локализации взрывов.

Цель статьи – анализ средств для локализации взрывов в выработках угольных шахт.

В ходе выполнения работы были проанализированы используемые заслоны и заслоны, известные из патентно-технической литературы. Так, устройство для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках содержит емкость, заполненную огнетушащим порошком и размещенную внутри емкости камеру высокого давления с выхлопными отверстиями. Механизм срабатывания приводит в действие подвижный поршень, обеспечивая открытие отверстий для «выбрасывания» порошка [1]. Недостатком этого устройства являются конструктивные особенности емкости, затрудняющие формирование порошкового облака.

Основной водяной заслон для локализации взрыва угольной пыли в шахте содержит свободно установленные на полках сосуды и водоподаю-

щие трубопроводы, соединенные через вентиль с магистральным водопроводом. Каждый сосуд снабжен отводом, опущенным в него на глубину не менее $1/3$ его высоты и соединенным с водоподающим трубопроводом. Сечения отводов увеличиваются с удалением от вентиля [2].

Недостатком заслона является недостаточная надежность его работы вследствие невозможности обеспечить одновременное автономное заполнение сосудов.

Устройство для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках содержит емкость, заполненную огнетушащим веществом, камеру высокого давления с выхлопными отверстиями, размещенную внутри емкости, и механизм инициирования перемещения поршня при срабатывании устройства [3].

Существенным недостатком устройства является сложность выполнения многочисленных газовых каналов в механизме инициирования перемещения поршня. Высокое аэродинамическое сопротивление приводит к медленному срабатыванию устройства, т.к. затруднено истечение сжатого газа в атмосферу.

Известны средства для локализации взрывов пылегазовых смесей, принцип работы которых основан на газогенерации химических веществ с последующим формированием облака из огнетушащего вещества.

Так, корпус устройства формирования пылевого облака для локализации включает три отсека, крайние из которых заполнены огнетушащим порошком, а средний отсек содержит перегородку, разделяющую его на две полости. В перегородке коаксиально корпусу закреплен газогенератор, выделяющий газ, не поддерживающий горение, через сопла в свободные объемы обеих полостей. Генератор включает два механизма инициации, каждый из которых содержит капсуль и боек, заблокированный пружиной. Хвостовик бойка через штырь сопряжен с приемным элементом, воспринимающим воздействие избыточного давления взрывной волны. Для формирования свободных объемов в полостях перед порошком и реализации сосредоточенной схемы подачи газа между средним и крайними отсеками установлены внутренние непроницаемые, гибкие, подвижные перегородки [4].

Недостатками данного устройства являются:

- устройство воспринимает воздействие взрывной волны только с одного направления и выбрасывает порошок только в одну сторону;
- небольшая масса порошка в корпусе – не более 25 кг. Для увеличения массы порошка необходима установка дополнительных устройств;
- конусообразная форма корпуса, из которого выбрасывается порошок, препятствующая эффективному формированию пылевого облака. Это объясняется тем, что сниженное давление газа, при подходе к расширяю-

щемся сечению, резко падает при выходе в большой объем горной выработки и, как следствие, приводит к снижению скорости выброса порошка, значительная часть которого просыпается на почву выработки.

Многофункциональная автоматическая система локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках состоит из датчиков, реагирующих на параметры взрыва и вспышки метана. Она выполнена в виде механизма, формирующего в шахтной атмосфере взрывоподавляющее облако из огнетушащего порошка энергией сжатого газа высокого давления по сигналу от датчика или диспетчера [5].

Недостатками указанной системы является сложность ее устройства и работы, заключающиеся в значительном количестве датчиков и необходимости использования сложного вычислительного оборудования и программного обеспечения, поэтому у системы низкое быстродействие, в десятки раз превышающее допустимое по нормативным требованиям – до 50 мс. Все это в значительной мере снижает надежность системы, направленной на обеспечение безопасности производства.

Система локализации и подавления взрывов метановоздушных смесей и/или угольной пыли в сети горных выработок содержит устройство автоматической регистрации показателей шахтной атмосферы, датчики метана, окиси углерода, водорода, кислорода, пыли и температуры, автоматически передающие измеряемые параметры в вычислительное устройство, управляющее работой системы [6].

Недостатками является то, что она не реагирует на дефлаграционное горение газов, конструктивно сложна, требует постоянного наблюдения за ее рабочим состоянием и, главное, срабатывает только при появлении ударной волны. Это снижает надежность работы, а в зонах свободного дефлаграционного горения в ограниченном объеме они не работают.

Известны устройства и способ локализации взрывов, за счет образования на пути распространения фронта пламени по горным выработкам облака пламегасящего порошка, создаваемого энергией сжатого воздуха или другого инертного газа высокого давления из основных и дополнительных взрыволокализирующих заслонов [7].

Взрыволокализирующие заслоны формируются ударной воздушной волной (УВВ), образующейся в результате взрыва газа и/или угольной пыли, дублируются внутренними источниками, получаемыми от газогенерирующего химического состава или электромагнитного привода.

Недостатками известных устройства и способа являются:

- коаксиальное расположение скользящей муфты (привода) относительно корпуса пневмопатрона может привести к нештатному срабатыванию устройства;
- срабатывающий механизм имеет низкую эффективность. При этом

давление и температура воздуха или инертного газа в цилиндре повышается за счет изохорического процесса и, как следствие, теряется энергия сжатого воздуха или инертного газа;

– прикрепленная к скользящей муфте в ее центральной части металлическая штанга, на конце которой помещен диск, воспринимающий УВВ и передающий усилие в осевом направлении на скользящую муфту, не гарантирует от заклинивания последней при ее перемещении по корпусу.

Способ для локализации взрыва метановоздушной смеси и угольной пыли и устройстве для его осуществления повышают эффективность локализации развивающихся по горной выработке взрывов метана и угольной пыли. Устройство содержит заполненный пламегасящим порошком бункер, имеющий, с одной стороны, заправочную горловину, закрытую крышкой, а с другой – легко разрушаемую диафрагму и распылитель. [8].

Недостатками устройства являются:

– длительное время от момента подачи исполнительного импульса до момента разрушения первой диафрагмы;

– наличие экзотермического процесса с выделением тепла в окружающую среду. Такому способу предъявляется ряд дополнительных требований в части безопасности ведения работ;

– несрабатывание устройства вследствие определенного угла обзора датчика пламени.

Защитное устройство от взрывов при подземных работах содержит один или несколько контейнеров с огнегасящим материалом. Выброс огнегасящего материала происходит при взрыве за счет разрушения контейнеров под прямым действием давления УВВ [9].

Недостатком описанного устройства является необходимость обеспечения прочности всей конструкции внутренней и внешней камер контейнеров от воздействия УВВ, включая пиковое начальное давление и остаточное давление продуктов взрыва.

Общими недостатками перечисленных средств локализации взрывов пылегазовых смесей является сложность элементов их конструкций, влияющая на инерционность срабатывания.

На основании изложенного выявленные недостатки средств и способов локализации взрывов газо- и пылегазовых смесей в угольных шахтах должны быть учтены при разработке заслона взрывного типа для локализации взрывов пыли - и метановоздушных смесей на угольных шахтах.

ВЫВОДЫ

На основе анализа патентных источников выявлены недостатки оте-

чественных и зарубежных средств для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах. Результаты анализа будут учтены при разработке экспериментального образца заслона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 193123 Российская Федерация, МПК E21F 5/14(2006.01). Устройство для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках: № 2018144203: заявл. 06.12.2018 : опубл. 15.10.2019 / Адамидзе Д.И., Горлов А.Ю., Горлов Ю.В., Канюка А.В., Рудковский А.А. - 13с. : 4 ил. - Текст электронный // https://yandex.ru/patents/doc/RU193123U1_20191015 (дата обращения 14.07.2025).

2. Патент № SU1010293, МПК E 21 F 5 14. Основной водяной заслон для локализации взрыва угольной пыли в шахте: № 2907721/22-03: заявл. 07.04.80: опубл. 07 04 83. Бюл. 13 / Петрухин П.М., Нецепляев М.И., Плоскоголовый Е.П., Бабиченко И.Л. – 2с.: 2ил. - Текст электронный <https://poleznayamodel.ru/patent/101/1010293.html> (дата обращения: 14.07.2025).

3. Патент № 193042 Российская Федерация, МПК E21F 5/00 (2006.01), E21F 5/14 (2006.01). Устройство для локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках: № 2019109607: заявл. 01.04.2019 : опубл. 11.10.2019 Бюл. № 29 / Адамидзе Д.И., Горлов А.Ю., Горлов Ю.В., Канюка А.В., Рудковский А.А. – 8с. : 1ил. - Текст электронный <https://patents.google.com/patent/RU193042U1/ru> (дата обращения 11.07.2025).

4. Патент RU 2335633 C2 Российская Федерация, МПК E21F 5/00. Устройство формирования пылевого облака для локализации взрывов: № 2006133816/03: заявл. 22.09.2006 опубл. 10.10.2008 Bull. 28 / Борисов В.В., Вохм В.В., Ганиев Ю.Х., Киселёв В.В., Красенков Г.И., Осипов О.С., Парфёнов В.Н., Трубицын Е.Д. - 10с. : 2 ил. - Текст электронный // <https://patentimages.storage.googleapis.com/16/bd/5d/b5469ee0eca425/RU2335633C2.pdf> (дата обращения 11.07.2025).

5. Патент RU 2658690 Российская Федерация, МПК E21F 5/14 (2006.01). Многофункциональная автоматическая система локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в подземных горных выработках и входящие в нее устройства локализации взрывов: № 2017112934: заявл. 14.04.2017: опубл. 22.06.2018 Бюл. № 18 / Адамидзе Д.И., Гор-

лов А.Ю., Горлов Ю.В., Канюка А.В., Рудковский А.А. – 20с. : 5 ил. - Текст электронный // <https://patentimages.storage.googleapis.com/e6/54/d7/48ac5b7a8c3444/RU2658690C1.pdf> (дата обращения 11.07.2025).

6. Патент № 2400633 Российская Федерация, МПК E21F 5/00 (2006.01). Система локализации и подавления взрывов метановоздушных смесей и/или угольной пыли в сети горных выработок : № 2009122800/03, заявл. 15.06.2009 : опубл. 27.09.2010 Бюл. № 27 / Шалаев В.С., Шалаев А.В., Шалаев Ю.В. – 9с. 1 ил. - Текст электронный <https://patents.google.com/patent/RU2400633C1/ru> ru (дата обращения 11.07.2025).

7. Патент № 2342535 Российская Федерация, МПК E21F 5/00 (2006.01). Способ локализации взрывов метановоздушной смеси и(или) угольной пыли в подземных горных выработках и устройства для его осуществления (варианты) : № 2007117638/03 : заявл. 14.05.2007 : опубл. 27.12.2008 / Джигрин А.В., Горлов Ю.В., Горлов К.В., Адамидзе Д.И., Горлов А.Ю., Тациенко В.П. – 35 с. : 3бил. - Текст электронный <https://patents.google.com/patent/RU2342535C1/ru> (дата обращения 11.07.2025).

8. Патент № 2244833 Российская Федерация, МПК E21F 5/00 (2006.01). Способ локализации взрыва метановоздушной смеси и угольной пыли и устройства для его осуществления (варианты) : № 2007117638/03: заявл. 14.05.2007 : опубл. 27.12.2008 / Джигрин А.В., Горлов Ю.В., Горлов К.В., Адамидзе Д.И., Горлов А.Ю., Тациенко В.П. – 35с. : 3бил. - Текст электронный <https://patents.google.com/patent/RU2244833C2/ru?q=2244833> (дата обращения 16.07.2025).

9. Патент N WO 8301274 Германия, МПК E21F 5J14. Защитное устройство от взрывов при подземных работах : N P 3140375.1: заявл. 10.10.1981 : опубл. 14.04.1983 / Erfinder; und ErfinderJAnmelder) : SCHNIER, Manfred [DE/DE]; Grafenwald 2, D-4618 Kamen-Heeren- Werve (DE); заявитель Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US) : RUHRKOHL AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Rellinghauser Str. 1, D-4300 Essen 1 (DE). 6 с. : 1 ил. // Espacenet – результаты поиска : URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/006143878/publication/E P0090829A1?q=rp%3DEP0090829> (дата обращения: 10.07.2025).

Получено: 16.07.2025

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.817

**I.Y. GOLIK, junior research worker,
V.V. DENGА, head of laboratory; GBU MAKNIИ, Makeyevka**

MEANS FOR EXPLOSION ISOLATION IN COAL MINES

In this research paper the analysis has been carried out of domestic and foreign means and devices for isolation of explosions of gas and dust-gas-mixtures in coal mines; their disadvantages have been determined.

Keywords: coal mines, barrier, methods and means for explosion isolation, gas-dust mixtures.

*Способы и средства создания безопасных и
здоровых условий труда в угольных шахтах*

Выпуск № 3 (июль – сентябрь) (70) 2025

Учредитель и издатель

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(МАКНИИ)**

Подписано к печати 16.09.2025. Выход в свет 25.09.2025.

Формат 60 x 84/8. Тираж 50 экз.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,67 Заказ № 60.

Гарнитура *Times New Roman*.

Свободная цена

Адрес редакции и издателя: 286132, Донецкая Народная Республика,
г.о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Лихачева, д. 60

Отпечатано на полиграфической базе МАКНИИ:

286132, Донецкая Народная Республика, г.о. Макеевка, г. Макеевка,
ул. Лихачева, д. 60

Телефон: + 7 (8563) 22-22-18, e-mail: maknii2014@inbox.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ААА № 000203 от 26.06.2018 г.

выдано Министерством информации Донецкой Народной Республики