

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исследование параметрических эффектов при волновом воздействии на газонасыщенный угольный массив, позволяющих осуществить интенсификацию его газоотдачи; отчет о НИР/ ИГТМ НАН Украины; Рук. С.П. Минеев, № ГР РК01005U002298; - Днепропетровск, 2006.-60 с.
2. Алексеев А.Д., Василенко Т.А., Волошина Н.И. Метан в ископаемых углях.//Геотехническая механика: Межв. сб. научн. тр./ Институт геотехнической механики НАН Украины.– Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2003. – Вып. 42. –С. 186–198.
3. Kiparissides C., Dimos V., Boulouka T., Anastasiadis A., Chasiotis A. Experimental and Theoretical Investigation of Solubility and Diffusion of Ethylene in Semicrystalline PE at Elevated Pressures and Temperatures//Journal of Applied Polymer Science. – 2003. – Vol. 87. – PP. 953–966.
4. Буркерт У., Эллинджер Н. Молекулярная механика. –М: Мир, 1986. –364 с.
5. Минеев С.П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. Динамика адсорбции метана в микропорах угля// Геотехнічна механіка: Міжвід. Зб. наук. праць /Ін-т Геотехнічної механіки НАН України.- Дніпропетровськ, 2006 - Вип. 67.-С. 179-184.

УДК [622.673.1: 681.514.54]

Канд. техн. наук В.В. Лопатин
(ИГТМ НАН Украины)

ПРОБЛЕМЫ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ АППАРАТУРЫ МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Стаття присвячена питанню вибухобезпечності апаратури мобільних інформаційно-вимірвальних систем шахтних підйомних комплексів при видобутку вугілля в масиві газонасичених гірських порід на основі останніх наукових досягнень і вимог безпеки

PROBLEMS OF EXPLOSION HAZARD OF EQUIPMENT OF MOBILE INFORMATION-AND- MEASURING SYSTEMS OF MINE LIFTING COMPLEXES

The article is dedicated to the problem of explosion hazard of equipment of mobile information-and-measuring systems of the mine lifting complexes when coal mining in gas-saturated rock mass on the base of the last scientific achievements and safety requirements.

Создание условий, исключаящих образование взрывоопасных концентраций метана, разработка и внедрение современных средств его контроля и своевременного удаления из шахт были и остаются актуальными задачами, которыми занимается Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ). Хотя существующие способы и средства проветривания шахт, дегазация угольных пластов, контроль параметров рудничной атмосферы позволили значительно повысить безопасность труда горняков, однако воспламенения метано-воздушной смеси все еще имеют место и причиняют ощутимый социальный и экономический ущерб народному хозяйству Украины. Механизм газовыделения в сеть горных выработок шахт изучен недостаточно и по-прежнему является актуальной научно-технической проблемой. Исследованиями установлено, что слоевое

скопление метана, как основная причина загазованности и взрывов его, обнаруживались не только на исходящей, но и на свежей струе [1, 2]. Поэтому вопрос присутствия метана в рудничной атмосфере шахтного ствола при любой газовой обстановке вызывает необходимость разработки практических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ, а также решения ряда теоретических вопросов, связанных с разработкой аппаратуры измерения в шахтном стволе с помощью мобильных информационно-измерительных систем шахтных подъемных комплексов (МИИСК).

Причиной взрыва на донецкой шахте им. А.А. Скочинского (погибли 63 человека) было замыкание в коробке электродвигателя угольного конвейера. Сначала от искры воспламенился метан, а затем взорвалась угольная пыль [3]. Последствия таких техногенных катастроф часто приводят и к необратимому ущербу для окружающей среды. Выбор высоконадежных и экономичных решений вопросов взрывобезопасности оборудования является одной из главных задач при разработке МИИСК. Тем более что новая редакция ПБ-2005 Украины в § 5.2.12 допускает использование измерительных приборов общего назначения, к которым относится МИИСК, только в шахтах, неопасных по газу и пыли.

Из материалов расследования правительственными комиссиями аварий с групповыми несчастными случаями на угольных шахтах Украины в 1980-2002 гг. [4] следует, что основной (80%) причиной аварий явились взрывы газа и пыли (33 аварии). От взрыва газа и угольной пыли погибли 1172 шахтера.

Наиболее крупные аварии подтверждают важность и необходимость устранения причин, способствующих созданию аварийных ситуаций. В 2003г., благодаря принятым мерам, в том числе внедрению научно-технических разработок, выполненных в соответствии с «Программой повышения безопасности труда на угольных шахтах» [5,6], в угольной отрасли не было аварий 1-ой категории (5 и более погибших). Однако имели место 16 групповых несчастных случаев, травмировано 74 человека, из которых 25 погибло. На угольных шахтах Украины выплата регрессионных исков шахтерам повышает себестоимость добываемого угля, увеличивая ее на 10-12%. Из-за аварий, травматизма и профзаболеваний угольная отрасль теряет ежегодно более 1 млрд. гривен. [4]. На неудовлетворительное состояние уровня безопасности труда на угольных шахтах Украины оказывают влияние весьма сложные горно-геологические условия, неудовлетворительное состояние шахтного фонда (износ на 65%), а также неукомплектованность шахт взрывозащищенными средствами оперативного контроля и др.

На решение отмеченной проблемы направлены ряд указов Президента Украины и постановлений Кабинета Министров Украины. Одним из таких постановлений является постановление «Об утверждении Программы повышения безопасности труда на угольных шахтах» от 06.07.02 № 939. Вышесказанное подтверждает актуальность и проблематичность задачи создания взрывобезопасной аппаратуры мобильных информационно-измерительных систем шахтных подъемных комплексов при добыче угля в

массиве газонасыщенных горных пород. В свете изложенного продолжение исследований в области создания более эффективных и надежных МИИСК, исключающих создание аварийной ситуации в шахтном стволе даже при значительном скоплении метана и угольной пыли, является актуальной научно-технической задачей.

Основной предпосылкой для качественного проведения исследований является аргументированный выбор метода анализа для разработки взрывобезопасного МИИСК с высокими метрологическими параметрами для эксплуатации в сложных стволовых условиях.

С химической точки зрения, окисление, горение и взрыв являются экзотермическими реакциями, происходящими с различными скоростями: нормированное горение, волна огня или взрыв. Для этой реакции требуется наличие в соответствующих пропорциях трех компонентов: топливо – горючая смесь; окислитель – воздух; энергия воспламенения – электрическая. Все способы, предлагаемые в междугосударственных и государственных стандартах, а также в правилах безопасности, направлены на исключение одного или более компонентов, для того, чтобы уменьшить риск возникновения взрыва до нуля. Для кислородосодержащей атмосферы шахты риск воспламенения зависит от вероятности одновременного наличия следующих двух условий:

- образование или скопление взрывчатых веществ;
- наличие электрической энергии, достаточной, чтобы воспламенить

опасную смесь.

Практически для всех взрывоопасных шахтных смесей (ВШС) экспериментальным путем может быть построены характеристики воспламенения. Для каждой смеси существует минимальная энергия поджигания (МЭП), которая соответствует идеальной пропорции топлива и воздуха, в которой смесь легче всего воспламеняется. Ниже МЭП поджигание ВШС невозможно при любой концентрации. Количество энергии, требующейся для воспламенения смеси, для концентрации ниже, чем величина соответствующая МЭП, увеличивается до тех пор, пока значение концентрации не станет меньше значения, при котором смесь не может воспламениться из-за малого количества топлива. Эта величина называется нижней границей взрыва (НГВ). При увеличении концентрации количество необходимой для воспламенения энергии растет, пока концентрация не превысит значения, при котором воспламенение не может произойти из-за недостаточного количества окислителя. Аналогичным образом это значение называется верхней границей взрыва (ВГВ). Для практического использования НГВ является более важной и существенной величиной, чем ВГВ, т.к. она устанавливает в процентном отношении минимальное количество топлива, необходимого для образования взрывоопасной смеси. Это - важная информационная характеристика при классификации опасных зон. МЭП является фактором, на котором основан такой вид защиты, как искробезопасная цепь (ИЭЦ). В корректно спроектированной системе МИИСК допускается, что должны возникнуть две и

более независимые неисправности, каждая с небольшой вероятностью, для того, чтобы произошел возможный взрыв. В этом случае энергия, освобождаемая электрической цепью, даже при аварийных условиях ограничивается более низким значением, чем МЭП.

ВШС подразделяются на категории взрывоопасности в зависимости от величины безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ – максимальный зазор между фланцами оболочки (корпуса МИИСК), через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую шахтную среду при любой концентрации ВШС) и значения соотношения между минимальным током воспламенения ВШС и минимальным током воспламенения метана (МТВ). Метан на подземных горных работах относится к первой категории, другие ВШС, за исключением метана на подземных горных работах, – ко второй категории. Существует также разделение на группы в зависимости от величины температуры самовоспламенения ВШС. ГОСТ 12.1.011 -78 «Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний», устанавливающий классификацию взрывоопасных смесей по категориям и группам и методы определения параметров взрывоопасности, используемых при классификации ВШС, полностью соответствует стандартам IEC 79-1A Construction and Test of Flame-proof Enclosures of Electrical Apparatus, IEC 79 – 4 Method of Test for Ignition Temperature.

Международная Электротехническая Комиссия (МЭК, МЭК 79-10 Classification of Hazardous Areas) и Европейское сообщество (ЕС, Committee of Electro technical Standardization, CENELEC, EN 60079-10 Classification of Hazardous Areas) рассматривают в своих стандартах три основных вида взрывоопасных зон размещения оборудования:

Zone 0 - зона, в которой взрывоопасная смесь воздуха и газа присутствует постоянно или в течение длительного промежутка времени;

Zone 1 - зона, в которой существует вероятность появления взрывоопасной смеси воздуха и газа при нормальной работе;

Zone 2 - зона, в которой образование взрывоопасной смеси воздуха и газа маловероятно, но если это происходит, то только на короткий промежуток времени.

Любые места, не подпадающие ни под одно из приведенных определений, считается неопасной зоной. В Украине и в России взрывоопасные зоны подразделяются на классы согласно «Правилам устройства электроустановок». Понятие «взрывоопасная зона» в «Правилах устройства электроустановок» определяется, как – это помещение или ограниченное пространство в помещении и наружной обстановке, в которых имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси. В этих зонах для обеспечения безопасности электрооборудования требуется обязательно применять соответствующие виды взрывозащиты. Классификация взрывоопасных зон базируется на вероятностных критериях и продолжительности присутствия огнеопасных смесей, а также концентрации ВШС в совокупности с такими

физическими параметрами, как температура вспышки, температура самовоспламенения и минимальная электрическая энергия поджигания.

В США классификация взрывоопасных мест осуществляется Государственными электротехническими нормами (National Electrical Code, NFPA 70, Articles 500-504). В Канаде применяются Канадские электротехнические нормы (Canadian Electrical Code, C22. Part I).

В обеих странах взрывоопасные места распределяются по классам в зависимости от присутствия огнеопасного вещества:

Class I - опасные из-за наличия легковоспламеняющихся паров или газов;

Class II - опасные из-за наличия легковоспламеняющихся порошков или пыли;

Class III - опасные из-за наличия легковоспламеняющихся веществ в твердом, жидком или волокнообразном состоянии.

Опасные места подразделяются также на подгруппы:

Division 1 - взрывоопасность может существовать во время нормального функционирования, технического ухода или ремонта, когда отказ оборудования может быть причиной аварии, т.е. способен стать причиной воспламенения;

Division 2 - горючий материал присутствует, но находится в закрытом контейнере или примыкает к участку Division 1.

Основное различие между европейской и североамериканской классификациями опасных зон заключается в том, что в настоящее время не существует непосредственного эквивалента Zone 0 в североамериканской системе. Zone 2 (МЭК/Европа) и Division 2 (Северная Америка) являются почти равнозначными, тогда как Division 1 включает в себя Zone 0 и Zone 1. Разработанная аппаратура для Zone 1, может не допускаться к применению в Division 1.

Практически для Zone 0 уровень вероятности наличия ВШС принимается равным более чем 1%.

Zone 1 имеет уровень вероятности наличия ВШС между 0,01% и 1% (максимум 100 часов в год).

В Zone 2 ВШС присутствует в течение не более 1 часа в год.

В Европе аппаратура сертифицируется на основе конструктивных особенностей, тогда как в североамериканской системе она классифицируется, исходя из зоны возможной установки. Для практики две системы являются равнозначными, даже если существуют небольшие различия. Европейский стандарт EN 50.014 General Requirements (ГОСТ 2282.0 – 81 и ГОСТ 12.2.020-76) относит к Group I аппаратуру для применения в шахтах при наличии в рудничной атмосфере метана и угольной пыли. Деление этого стандарта основываются на величине безопасного экспериментального максимального зазора для взрывонепроницаемой оболочки или минимальном токе воспламенения для аппаратуры с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь».

Существуют три метода взрывозащиты:

1. Изоляция – метод, который основывается на физическом разделении или изоляция электрических элементов от ВШС. Этот принцип включает такие способы:

- метод защиты заполнением порошком;
- метод избыточного давления (очистка);
- метод защиты погружением в масло;
- герметизация.

2. Сдерживание взрыва – при этом методе взрыв происходит, но ограничен определенной зоной, таким образом, что распространения взрыва в окружающую атмосферу не происходит. На этом принципе базируется вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка».

3. Предотвращение – метод, который ограничивает электрическую энергию, сохраняя определенные уровни как при нормальной работе, так и при аварийных обстоятельствах. За рубежом этот вид взрывозащиты известен как «intrinsic safety» (внутренняя безопасность), у нас – «искробезопасная цепь».

Авария в электрической цепи или аппаратуре, которая впоследствии приводит к аварии в другой электрической цепи или МИИСК, рассматривается как одиночная авария. Считается, что должны произойти, по крайней мере, две независимые аварии в одном и том же месте и в то же время для того, чтобы возникла вероятность взрыва. Ни один из методов взрывозащиты не может обеспечить абсолютно надежного предотвращения взрыва. Однако при правильном выборе и содержащимся в исправном стандартном взрывозащитном МИИСК вероятность взрыва незначительна.

Методам изоляции и сдерживание взрыва (ГОСТ 1454-80 «Изделия. Электротехнические оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний») характерны большие эксплуатационные расходы и свойственны следующие проблемы при эксплуатации МИИСК и монтаже его на подъемном сосуде.

1. Рудничная атмосфера шахтного ствола требует применения таких материалов, как литой алюминий, нержавеющая сталь или бронза, что приводит к неоправданному увеличению стоимости оболочки.

2. Оболочки МИИСК крупногабаритны, весьма тяжелы и их монтаж и демонтаж создают серьезные сложности.

3. Во влажной шахтной атмосфере конденсация создаст дополнительные проблемы внутри оболочки.

4. Трудно произвести изменение в схеме МИИСК.

5. Кабельные вводы МИИСК требуют приспособлений для особого монтажа (обжатие, кабельные хомуты, кабель в оболочке с наполнителем, изоляция), что приводит к дополнительным расходам.

6. Трудности удаления крышки (требуется специальный инструмент или необходимо отвернуть до 32 болтов).

Тем не менее эти методы наиболее известны, широко применяются в шахтах с прошлого века. В течение последних 50 лет не было сообщений об аварии из-за их использования. Метод «повышенного давления» является более

универсальным, чем метод «взрывонепроницаемая оболочка», потому что он не зависит от типа ВШС и, несмотря на его сложность, может быть применен там, где ни один другой метод неприменим. Вышеуказанные виды взрывозащиты, особенно в жестких шахтных условиях эксплуатации, являются критичными к нестабильности рабочих условий и требуют, помимо функционального технического обслуживания, больших «проблем» по поддержанию изначальных характеристик надежности.

Однако метод взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» является наиболее безопасным, наиболее гибким, имеет наименьшую стоимость установки и обслуживания. Этот метод является предпочтительным и перспективным для применения в МИИСК, поскольку он в незначительной степени зависит от человеческой ошибки и является единственным методом, который не требует особых способов прокладки фидера и допускает установку способом, который применяется для стандартного электрооборудования. Искробезопасная электрическая цепь наиболее надежна вследствие применения надежных и небольших компонентов, как предписано стандартами.

Следует отметить, что рассмотрение превышения фактора безопасности одного метода защиты по сравнению с другим некорректно. Если МИИСК спроектирован и установлен правильно, практически не существует разницы, где фактор безопасности выше или ниже. Правильная эксплуатация - определяющий фактор обеспечения взрывобезопасности МИИСК.

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна соответствовать [7] и содержать знак «Ex», указывающий, что электрооборудование соответствует указанному стандарту и стандартам на вид взрывозащиты. Традиционно метод сдерживания взрыва (Ex d) широко применяется для шахтных осветительных электроустановок, соединительных коробок, электротехнического оборудования и коммутационной аппаратуры. Метод изоляции преимущественно применяется в безыскровых электрических моторах (например, в асинхронных двигателях типа «беличье колесо» или синхронных шаговых и бесколлекторных двигателях), а также для осветительного электрооборудования и электротехнических соединительных коробок. Главным преимуществом «искробезопасной электрической цепи» (Ex i) является экономия средств при монтаже-демонтаже МИИСК, более надежная эксплуатация и более удобное техническое обслуживание. Совокупность данных преимуществ приведет к доминированию именно этого вида взрывозащиты не только в МИИСК, но и в других современных шахтных контрольно-измерительных системах.

Существуют три уровня взрывозащиты Ex i:

Ex ia – особовзрывобезопасный;

Ex ib – взрывобезопасный;

Ex ic – повышенная надежность против взрыва.

Ex ia предполагает сохранение условий безопасности даже в случае одновременных и независимых повреждений, поэтому этот уровень

взрывозащиты обеспечивает наибольшую безопасность и применим для Zone 0, Zone 1 и Zone 2.

Ex ib допускает только одно повреждение и поэтому применим только для Zone 1 и Zone 2.

В основном ограничение энергии искробезопасных электрических цепей производится искробезопасными электрическими цепями связанного электрооборудования (блоками искрозащиты на стабилитронах – БИС, другое наименование – барьеры безопасности на шунтирующих диодах Зенера), которые, при нормальном или аварийном режиме работы, не отделены гальванически от искробезопасной цепи.

Как правило, связанное оборудование МИИСК размещается в безопасной (воздухоподающем шахтном стволе) зоне и защищено в местах установки искробезопасными электрическими цепями. МИИСК ограничивает максимальное напряжение и ток, протекающий через искробезопасные электрические цепи, даже в случае аварии. Защита может быть выполнена с применением БИС или гальванически изолированных средств сопряжения - развязывающих устройств (повторителей аналоговых сигналов, преобразователей сигналов с универсальным входом, формирователей аналоговых входных сигналов и т.п.). В БИС применяются защищенные плавкими предохранителями стабилитроны для ограничения максимального напряжения шунтированием аварийного тока на землю. Последовательно с предохранителями включены ограничительные резисторы, лимитирующие ток до максимально допустимого для искробезопасных цепей значения.

Этот вид защиты требует отдельной точки заземления с низким значением сопротивления (изопотенциальная земля безопасности), с которой должны сопрягаться все защитные цепи. Особенность такого изопотенциального заземления – соединение с землей должно выполняться в одной точке. Чтобы препятствовать образованию опасных и неконтролируемых утечек контурных токов заземления во взрывоопасные участки.

Стандарты по установке электрооборудования требуют, чтобы суммарное значение сопротивления от наиболее удаленного БИС до центральной шины аварийной защиты не превышало 10м. Это позволяет ограничивать кратковременные перенапряжения в искробезопасных электрических цепях, вызванные аварийными бросками тока в контуре сопротивления заземления. Обеспечение электроизоляции между двумя контурами в развязывающих устройствах не требует введения отдельной системы заземления для системы аварийной защиты и позволяет применять изолированные или заземленные искробезопасные цепи независимо.

Развязывающие устройства, в дополнение к ограничивающим напряжению стабилитронам, обеспечивают надежную электрическую изоляцию между искробезопасными электрическими цепями и неискробезопасными цепями посредством традиционных трансформаторов, реле, оптопар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А.И., Петченко Н.Г. О причинах воспламенения метано-воздушной смеси в шахтах. Уголь, 1981. №3, С. 48-49

2. Петросян А.Э. Выделение метана в угольных шахтах М. Наука 1975. -188с.

3. Газета «КоммерсантЪ-Daily» от 24 апреля 1998г.

4. Выполнить исследования состояния охраны труда и результатов реализации Программы повышения уровня безопасности труда на угледобывающих предприятиях и разработать мероприятия по предотвращению аварий. Отчет по НИР1710202030 (промежуточный) МакНИИ/Руководители Левкин Н.Б., Кузьменко Н.С. – Макеевка – Донбасс, 2003. – 101с.

5. Програма підвищення безпеки праці на вугільних шахтах. Сучасний стан і проблеми охорони праці. Зав. пост. Кабінету Міністрів України. – К. : Укр. – інформ. прав. Центр. – 2002. – С. 45-77.

6. Брюханов А.М., Кудинов Ю.В. О состоянии научных исследований по „Программе повышения безопасности труда на угольных шахтах” //Сб. научн. тр. МакНИИ - 2003. – С. 11-16.

7. ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь».

УДК 622.02:551.345:536.2

Канд. техн. наук В.В. Круковская
(ИГТМ НАН Украины)

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Використано метод кінцевих елементів для розв'язання задачі нестационарної теплопровідності з фазовим переходом у мерзлих породах криолітозони. Наведено розподіли температурних полів у часі навколо виробок, що закріплені набрызкбетоном та з незакріпленим контуром.

TO THE PROBLEM SOLVING OF UNSTEADY THERMAL CONDUCTIVITY BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Use of a finite element method for a modeling of non-stationary thermal conductivity in frozen rocks with change of phase is considered. Distributions of temperature in a time around of excavations which are fixed by concrete and with the unfixed contour are resulted.

Проведение и эксплуатация горных выработок в условиях криолитозоны имеет специфические особенности, связанные с пониженной температурой вмещающих пород. Их оттаивание инициирует множество физических процессов: изменение температурных напряжений, процессы фильтрации оттаявших вод, уменьшение прочности геоматериалов при циклическом изменении температуры и др. Перераспределение напряженного состояния массива, ухудшение прочностных характеристик и уменьшение обводненности приводят к разрушению пород. Для того чтобы избежать этого и продлить срок эксплуатации выработки, контур выработки закрепляют набрызкбетоном.

Исследуем, как бетонирование контура выработки влияет на распределение температурных полей вокруг нее.

Предположим, что рассматриваемое тело изотропно, температурные деформации элементарного объема пренебрежимо малы по сравнению с объемом тела. Основное уравнение теплопроводности имеет вид [1]:

$$c\rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) + q_v,$$