

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВЗРЫВОВ МЕТАНА
И ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ
ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ШАХТАХ,
ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ**

В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко, В. В. Артамонов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбасская академия строительства и архитектуры

ул. Героев Небесной сотни, 14, г. Краматорск, 84333, Украина.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

Обоснованы меры по предупреждению взрывов метана и зарядов взрывчатых веществ (ВВ) от статического электричества, образующегося на элементах гибких вентиляционных труб и конвейерных лент в шахтах, опасных по газу. Изложены условия образования взрывоопасных концентраций метана в горных выработках, а также опасных зарядов статического электричества на металлических элементах вентиляционных труб и конвейерных лент. Показано, что при металлическом контакте таких элементов с заземленными металлическими предметами оголенными взрывными магистралями возникает искрение, способное воспламенить взрывоопасную смесь метана с воздухом, а разряд электростатического заряда способен инициировать несанкционированное воспламенение электродетонаторов и взрыв зарядов ВВ. Предложены меры по предотвращению указанных аварийных ситуаций, в том числе заземлению металлических элементов вентиляционных труб и ленточных конвейеров, контролю целостности изолирования взрывных магистралей.

Ключевые слова: метан, заряд ВВ, изоляции, электростатический заряд.

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИБУХІВ МЕТАНУ
І ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН
ВІД СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ У ШАХТАХ,
НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ**

В. П. Колосюк, В. М. Чебенко, В. В. Артамонов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбаська академія будівництва і архітектури

вул. Героїв Небесної сотні, 14, м. Краматорськ, 84333, Україна.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

Обґрунтовано заходи попередження вибухів метану та зарядів вибухових речовин (ВР) від статичної електрики, створюваної на металевих елементах гнучких вентиляційних труб та конвеєрних стрічок у шахтах, небезпечних за газом. Викладені умови створення вибухонебезпечних концентрацій метану у гірничих

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

виробках, а також небезпечних зарядів статичної електрики на металевих елементах гнучких вентиляційних труб і конвеєрних стрічок. Викладені умови створення вибухо-небезпечних концентрацій метану у гірничих виробках, а також небезпечних зарядів статичної електрики на металевих елементах гнучких вентиляційних труб і конвеєрних стрічок. Приведені дані по зростанню концентрації метану у гірничій виробці після проведення вибухових робіт та показано, що через пів хвилини концентрація досягає нижньої межі вибуховості - 5%. Експериментально доведено, що ступінь електризації вентиляційних труб залежить від запиленості повітряного потоку, швидкості переміщення повітря, відносної вологості та дисперсності пилу, а напруга електризації може досягати 30 кВ. Показано, що у разі металевих контактів таких елементів з заземленими предметами або оголеними вибуховими магістралями виникає іскріння, здатне підпалити вибухонебезпечну суміш метану з повітрям, а розряд електростатичного заряду здатний ініціювати несанкціонований підпал електродетонаторів і вибух ВР. Приведені результати експериментальних досліджень по визначенню імовірності вибуху метано-повітряної суміші, якими підтверджена небезпека вибуху метану від статичної електрики у вугільній шахті, небезпечній за газом. Запропоновані заходи попередження вказаних аварійних ситуацій, у тому числі по зменшенню поверхневого опору матеріалу для виготовлення гнучких вентиляційних труб і конвеєрних стрічок до величини не більше 10^9 Ом, або штучному збільшенню відносної вологості у гірничих виробках до величини не менше 70 %, заземленню металевих елементів вентиляційних труб та стрічкових конвеєрів, та контролю цілісності ізолювання вибухових магістралей. Рекомендовано за результатами досліджень внесення відповідних поправок у паспорти вибухових робіт.

Ключові слова: метан, заряд ВР, ізоляція, електростатичний заряд.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Как известно, при движении воздуха по гибким вентиляционным трубам или в результате движения и трения конвейерных лент происходит их электризация с образованием электростатических зарядов, разряд которых происходит с искрением. Если искрение происходит в взрывоопасной атмосфере горных выработок возникает опасность взрыва в шахтах. Кроме того, электростатические разряды могут инициировать несанкционированное воспламенение электродетонаторов и взрыв зарядов ВВ. Несанкционированный взрыв ВВ сам по себе опасен, но он может быть источником взрыва метана в шахте. В литературных источниках [1, 2] имеются данные об уровнях электростатических зарядов и о концентрации метана в выработках при взрывных работах, что создает условия для оценки возможных опасностей и определяет актуальность данной работы, имеющей существенное значение для решения проблемы повышения безопасности работ в промышленности.

Цель работы – обоснование мер по предупреждению взрывов метана и зарядов ВВ от статического электричества в газовых шахтах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для подачи свежего воздуха в проходческие забои и выработки, а также для отсоса запыленного воздуха

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

при работе горных машин применяются следующие гибкие вентиляционные трубы: капроновые (КТ), полихлорвиниловые (ПХВ), из полихлорвинилового пластиката (ПХВП), резиноканевые (М, МУ ТКП), комбинированные (ЧЛХВ и ЧЛХР) и опытные (Л-5, Л-7) [3]. Диаметр вентиляционных труб находится в пределах от 500 до 1000 мм. Трубы прокладываются по всей длине проходческих выработок и доходят практически до самих забоев, где проводятся буровзрывные работы и возможно интенсивное загазирование выработок с опасностью взрыва метана при возникновении источника поджигания (рис. 1) [1].

После разрушения горного массива и угля происходит быстрое нарастание концентрации метана и за 0,5 мин., концентрация достигает нижнего предела взрываемости (5% по объему). После достижения максимума под влияния проветривания выработки системой вентиляции происходит снижение концентрации по экспоненциальному закону, минуя верхний предел взрываемости (15%) и нижний предел. Поэтому в выработке относительно длительное время имеет место опасная концентрация метана и в случае появления источников поджигания существует опасность взрыва газа или пожара.

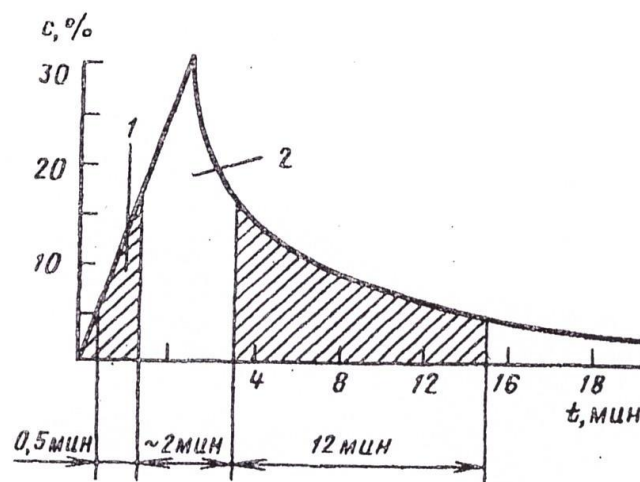


Рисунок 1 – График примера изменения концентрации метана в забое выработки при ведении взрывных работ:

- 1 - область значений концентраций, при которых возможен взрыв газа;
- 2 - область значений концентраций, при которых возможен пожар

При движении воздуха по трубам и трении молекул воздуха об их диэлектрические поверхности возникают электростатические заряды, которые, накапливаясь, концентрируются на закрепленных на трубах металлических элементах, пропорционально величине их емкости. Разряд электростатических зарядов сопровождается искрой и может быть источником поджигания взрывоопасной смеси метана с воздухом выработки.

Степень электризации вентиляционных труб и других объектов оценивается величиной электрического напряжения (U) металлических элементов относительно земли, закрепленных на трубах или других объектах (рис. 2) [2]

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

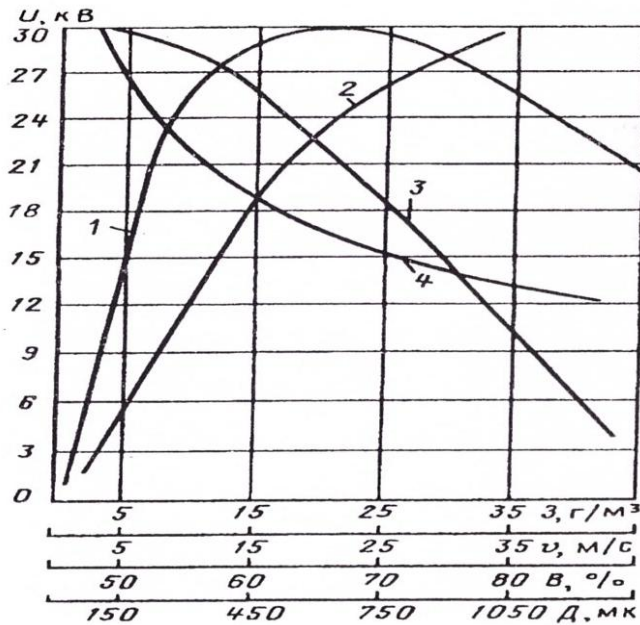


Рисунок – 2 Графіки измеренной степени электризации капроновых вентиляционных труб в зависимости от: запыленности пылевоздушного потока в $г/м^3$ – 1; скорости перемещения воздуха с пылью в м/с – 2; относительной влажности воздуха в % – 3; дисперсности пыли в мк – 4

При запыленности 15-25 $г/м^3$ наступает равновесие между генерируемым зарядом и величиной утечки. Дальнейшее повышение концентрации пыли не приводит к повышению электризуемости воздухопроводов, а, наоборот, к понижению.

Известно, что основным фактором электризации вентиляционных труб и любых других изделий является их электрическое сопротивление. Это подтверждается полученными данными для вентиляционных труб и конвейерных лент, применяемых в угольной промышленности (табл. 1). Вентиляционные трубы, по которым осуществляется проветривание тупиковых выработок, и ленты конвейеров, по которым осуществляется выдача горной массы и угля из забоев, по существу являются носителями источников поджигания взрывоопасной среды в горных выработках из-за возможности образования в их конструкции электростатических зарядов.

Таблица 1 – Напряжение электризации вентиляционных труб

Тип вентиляционных труб	Поверхностное электрическое сопротивление, Ом	Электрическое напряжение электризации, кВ
КТ	$1,4 \cdot 10^{13}$	30,0
ПХВП	$2,4 \cdot 10^{12}$	25,0
М	$5,9 \cdot 10^{11}$	17,0
ЧХЛР, ЧХЛВ	$1,2 \cdot 10^{10}$	7,5
Л-7	$2,0 \cdot 10^9$	2,5
Л-6	$1,0 \cdot 10^8$	0,2

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Максимальное напряжение электризации гибких вентиляционных труб по результатам испытаний можно оценить величиной 30 кВ. Следует заметить, что для так званых бипластмассовых труб был зафиксирован уровень их электризации в 35 кВ.

Для проветривания длинных тупиковых выработок (свыше 800 м) используют вентиляционные трубы, в которых по всей длине помещают полиэтиленовые рукава с толщиной стенки до 0,1 мм и диаметром, соответствующим диаметрам труб. Это значительно снижает аэродинамическое сопротивление и утечку воздуха на стыках и в местах повреждения, но способствует накоплению зарядов на элементах, закрепленных на поверхности труб.

На металлических элементах (кольцах, крючках, бандажах, спирали), закрепленных на гибком воздухопроводе, электрическое напряжение достигало 10 кВ при скорости движения незапыленного воздуха 25 м/с, относительной влажности 60 % и поверхностном электрическом сопротивлении материала вентиляционных труб $6 \cdot 10^{10}$ Ом. Это на два порядка выше уровня, нормированного Правилами безопасности угольных шахт.

В ленточных конвейерах, в которых также используются полимерные материалы, к которым относятся сами ленты и клиноремненные передачи, также возникают условия их электризации. Анализом конструкции этих средств установлены следующие элементы электризации. Это, прежде всего, сами конвейерные ленты, футерованные приводные, натяжные и направляющие барабаны, комбинированные (металл и пластмасса) опорные и поддерживающие ролики, узлы крепления (заклепки, шарнирные замки, скобы, поперечные ребра), а в клиноремненных передачах - ремни.

Стендовые испытания конвейерных лент, применяемых на шахтах и обогатительных фабриках, показали, что наиболее высокие уровни электризации возникают, если заторможены какой-либо из барабанов или поддерживающих роликов. Причем в случае повышения сопротивления более 10^{11} Ом электрическое напряжение уже достигает 30 кВ, т.е. чем выше сопротивление материала, тем выше напряжение электризации.

Взрывоопасность электростатических зарядов состоит в том, что при их разряде возникает искрение, представляющее опасность воспламенения взрывоопасной метано-воздушной смеси, если она образовалась в шахте в месте такого искрения.

Разряд происходит всегда, когда происходит касание любого токопроводящего предмета, имеющего контакт с землей, с металлическим элементом, закрепленным на трубе. В месте касания возникает искрение, характеризующееся энергией:

$$E = 0,5 CU^2, \quad (1)$$

где U – напряжение электростатического заряда, В; C – емкость металлического элемента, закрепленного на вентиляционной трубе, Ф.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

При разряде в канале разряда возникает электрический ток, изменяющийся во времени ,затухающий по экспоненциальному закону:

$$i = I_0 e^{-t/\tau}, \quad (2)$$

где I_0 – начальное значение тока при $t = 0$; τ – постоянная времени; $\tau = C R$; R – сопротивление в канале разряда, Ом.

Расчеты по формуле (1) показывают, что при фактической емкости металлических элементов, закрепляемых на вентиляционных трубах и на конвейерных лентах, энергия электризации превышает величину минимальной энергии воспламенения метано-воздушной смеси 0,25 мДж [3,4]. Взрывоопасность электростатических зарядов подтверждена результатами проведенных в МакНИИ экспериментальных испытаний на электризуемость вентиляционных труб и конвейерных лент [2] (табл. 2, 3).

При испытаниях определялись размеры и емкость металлических элементов, закрепляемых на трубах, измерялось электростатическое напряжение, оценивалась энергия электростатического разряда и определялась вероятность взрыва при разряде во взрывчатой смеси. Основная особенность испытаний состояла в том, что разряд осуществлялся в камере, заполняемой взрывчатой метано-воздушной смесью. Для каждого режима производилось достаточное число искрений и определялось количество взрывов смеси и рассчитывалась вероятность взрыва по выражению:

$$p = n / m, \quad (3)$$

где n – зафиксированное число взрывов при производстве m искрений.

Таблица 2 – Результаты испытаний на электризуемость вентиляционных труб

Элемент, закрепленный на гибком воздухопроводе	Размеры элемента, мм	Электрическая емкость элемента, пФ	Электрическое напряжение, кВ	Энергия электростатического разряда, 10^{-4} Дж	Вероятность взрыва
Металлическое звено	400x2000	126	3,0	5,7	0,3
Кольцо	61x256	27	7,0	6,0	0,6
Крючок	110x20	15	9,0	6,1	0,6
Пластина	50x50	17	8,7	6,4	0,5
Пластина	100x100	18	7,9	5,2	0,4
Пластина	120x120	20	4,9	0,2	0,0
Пластина	175x175	29	6,8	6,7	0,6
Спираль ТВ	10x400x22	142	4,3	13,0	0,7

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Таблиця 3 – Результати испытаний на електризуемость конвейерных лент

Элемент, закрепленный на конвейерной ленте	Электрическая емкость элемента, пФ	Электрическое напряжение на элементе, кВ	Энергия электрического разряда, 10^{-4} Дж	Вероят- ность взрыва
Заклепка	6	12,8	4,9	0,1
Пластины	36	12,5	28,1	0,8
Поперечное ребро	102	10,8	59,5	1,0
Скобы	375	5,7	60,9	1,0
Шарнирный замок	440	6,1	81,8	1,0
Ролик в сборе	300	6,2	57,7	0,9
Труба ролика	90	10,0	45,1	0,8

Из табл. 2 следует, что наименьшую емкость имеют элементы крепления труб: крючки – 15 пФ, а из табл. 3 - заклепки конвейерных лент - 6 пФ, однако и при такой емкости наведенные напряжения составляет соответственно 9 и 4,9 кВ, при которых вероятность взрыва (0,1) недопустимо высока по сравнению с вероятностью 10^{-6} , допустимой ГОСТ 12.1.017-76 о взрывобезопасности производственных процессов. Результаты испытаний свидетельствуют, что наэлектризованные металлические элементы, как вентиляционных труб, так и конвейерных лент даже при небольшой емкости представляют реальную опасность воспламенения метано-воздушной смеси.

Образование искрения в горной выработке от электростатического разряда возможно в случае соприкосновения наэлектризованных металлических частей, закрепленных на вентиляционных трубах, либо конвейерных лентах с другими металлическими предметами или просто с «землей». Учитывая протяженность вентиляционных труб или ленточных конвейеров, искрение может быть по длине всей их трасы и даже в самом забое тупиковой выработки, где существует высокая вероятность накопления метана и создаются условия взрыва образовавшейся взрывчатой метано-воздушной смеси.

Опасность преждевременного взрыва зарядов ВВ возникает, если при режимах взрывания создаются условия инициирования электродетонаторов от электростатических зарядов. Это возможно в 2-х случаях [7, 8, 9]:

1) Разряд электростатического заряда в виде импульса тока, если повреждена изоляция взрывной магистрали с касанием одного из ее проводов наэлектризованного элемента, а другого – «земли». Экспериментально показано, что в этом случае импульс тока превышает импульс воспламенения короткозамедленных электродетонаторов и детонатор взрывается.

2) Пробойный разряд электростатического заряда между электровоспламенителем электродетонатора (ЭД) и «землей», если один из проводов взрывной магистрали с поврежденной изоляцией касается наэлектризованного элемента, а зазор между головкой ЭД имеет прямой контакт с гильзой или уменьшен до 1 мм [6]. Экспериментально показано, что в этом случае минимальная энергия срабатывания электродетонатора составляет 0,2 мДж при емкости 100 пФ и напряжении 0,2 кВ.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Для предотвращения взрывов метана в газовых шахтах, кроме мер по недопущению взрывоопасных концентраций метана в воздухе горных выработках, необходимо принимать меры по недопущению опасных зарядов статического электричества на гибких вентиляционных трубах и лентах конвейеров, способных быть источником поджигания взрывоопасной метано-воздушной смеси [8, 9,10].

Предотвращение опасности взрыва метана и зарядов ВВ возможно путем применения мер нейтрализации накопления электростатических зарядов, т.е. мерами защиты от статического электричества, чтобы энергия электростатических разрядов не превышала минимальной энергии инициирования электродетонаторов искровым зарядом, $E = 0,2$ мДж [9, 10].

Из выполненного анализа следует, что это можно осуществить двумя способами: снижением величины напряжения электризации путем уменьшения поверхностного электрического сопротивления гибких вентиляционных труб и конвейерных лент и мерами нейтрализации образующихся зарядов. Что касается снижения емкости металлических элементов, закрепляемых на вентиляционных трубах или конвейерных лентах, то хотя от величины их емкости теоретически зависит энергия электростатического заряда, но практически эта мера мало эффективна, так как создать конструктивно металлические элементы с достаточно малой емкостью не представляется возможным. Эксперименты показали, что даже на заклепках конвейерных лент при емкости 6 пФ и подвесных крючках вентиляционных труб при емкости 15 пФ образуется электростатический заряд, воспламеняющий взрывоопасную смесь с большой вероятностью (табл. 2, 3).

Снижение поверхностного сопротивления конвейерных лент и вентиляционных труб реализуется путем уменьшения удельного сопротивления материалов, применяемых для их изготовления (например, добавка в рецептуру материала углеродистой сажи и др.).

При поверхностном сопротивлении вентиляционных труб и конвейерных лент менее 10^9 Ом опытами не подтверждена взрывоопасность электростатических разрядов.

Поэтому электрическое сопротивление материалов вентиляционных труб и конвейерных лент не должно превышать $3 \cdot 10^8$ Ом, что и регламентировано Правилами безопасности угольных шахт. Эта норма должна обеспечиваться изготовителями труб и лент. Поверхностное сопротивление должно указываться у сертификатах на трубы и ленты.

Потребители вентиляционных труб и конвейерных лент в договорах на поставку должны оговаривать норму их поверхностного сопротивления, а в условиях эксплуатации рекомендуется контролировать поверхностное сопротивление путем измерения сопротивления относительно земли металлических элементов труб и лент в сборке вентиляторов местного проветривания и ленточных конвейеров перед производством буровзрывных работ, особенно при сотрясательном взрывании.

Нейтрализацию электростатических зарядов можно осуществить 2-мя способами:

- 1) Искусственным увеличением влажности в горных выработках;
- 2) Заземлением металлических частей, закрепленных на вентиляционных трубах и конвейерных лентах.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Експериментально доказано, что при относительной влажности воздуха 60 сопротивление снижается на 2 порядка, а при влажности 70% взрывоопасных электростатических зарядов не возникает, так как происходит саморазряд напряжения электризации. При этих условиях поверхностное сопротивление вентиляционных труб и конвейерных лент не превышает норм.

Повышение относительной влажности сухих горных выработок можно осуществить простым орошением поверхностей, как это делается для пылеподавления, или впрыскиванием воды в нагнетательные вентиляционные трубопроводы, либо осуществлением водяных завес в забоях тупиковых выработок, как средства пылеподавления и задержки пламени взрыва. Разумеется, эти меры должны быть предусмотрены паспортами буровзрывных работ (БВР).

Эффективным средством нейтрализации электростатических зарядов для предотвращения взрывов метана и зарядов ВВ является обеспечение заземления металлических частей, устанавливаемых на вентиляционных трубах и конвейерных лентах. Через цепь заземления электрический заряд стекает в землю и не представляет опасности даже в сухих выработках.

В ленточных конвейерах барабаны, ролики и другие элементы можно отдельно не заземлять, если они имеют достаточную связь с рамой и другими металлическими частями конвейера, имеющего заземление согласно требованиям электробезопасности.

Для заземления металлических элементов гибких вентиляционных труб также используется система шахтного заземления или отдельные местные заземлители, даже отдельные рамы металлической крепи, как естественные заземлители. С этой целью подвеска вентиляционных труб должна осуществляться с помощью металлического провода или троса, заземленного с обоих концов, к которому на штатных крючках или иным способом прикрепляются вентиляционные трубы, осуществляя необходимую связь металлических частей с системой шахтного заземления. Детализация такого заземления изложена в «Инструкции по устройству, осмотру и измерению сопротивлений шахтных заземлений» к Правилам безопасности угольных шахт.

Как указывалось выше, перед заряданием зарядов ВВ рекомендуется с помощью мегаомметра измерить сопротивления относительно земли металлических элементов гибких вентиляционных труб и убедиться, что оно не превышает $3 \cdot 10^8$ Ом.

Необходимо особенно тщательно осмотреть взрывную магистраль, убедиться, что отсутствуют «голые» места на проводах, а при их наличии тщательно их изолировать с помощью липкой изоленды и уложить провода взрывной магистрали по возможности с другой стороны горной выработки, чем вентиляционные трубы. При наличии ленточного конвейера в выработке рекомендуется его остановить на время проведения БВР путем отключения напряжения питания.

ВЫВОДЫ. 1. Для предотвращения взрывов зарядов ВВ от статического электричества необходимо обеспечить снижение энергии его искрового разряда до величины не более 0,2 мДж, т.е. менее минимальной энергии воспламенения взрывоопасной метано-воздушной смеси 0,25 мДж, чем обеспечивается также предотвращение взрывов метана в горных выработках от статического электричества.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

2. Подтверждено, что допустимая энергия электростатического разряда обеспечивается, если поверхностное сопротивление материала гибких вентиляционных труб и конвейерных лент не превышает 10^9 Ом, чем обосновывается норма на указанное сопротивление величиной $3 \cdot 10^8$ Ом.

3. В условиях эксплуатации для нейтрализации статического электричества и предотвращения взрывов метана и несанкционированных взрывов ВВ необходимо обеспечивать заземление металлических частей, устанавливаемых на вентиляционных трубах и конвейерных лентах, либо (и) повышать искусственно относительную влажность в горных выработках до 70% на основе применения оросительных систем.

4. В паспортах БВР, наряду с общими мерами безопасности буровзрывных работ и борьбы с газом, должны предусматриваться также меры безопасности по электростатике. Рекомендуются перед заряданием шпуров осуществлять контроль сопротивления металлических элементов вентиляционных труб относительно земли в зоне прокладки взрывной магистрали, целостность изоляции самих проводов, а взрывную магистраль прокладывать с другой стороны, чем став труб вентиляционной установки местного проветривания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывобезопасность рудничного электрооборудования / А. А. Каймаков та ін. М.: Недра, 1982. 207 с.

2. Залесский П. С., Ихно С. А. Защита горношахтного оборудования от статического электричества. М.: Недра, 1989. 135 с.

3. Колосюк В. П., Чебенко В. Н. Необходимое быстрое действие защитного отключения особовзрывобезопасного электрооборудования. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково - виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2014. Вип. 2(14). С. 187–198.*

4. Ткачук С. П., Колосюк В. П., Ихно С. А. Взрывопожаробезопасность горного оборудования. К.: 2000. 695 с.

5. Соболев В. В., Чернай А. В., Чебенко В. М., Скобенко О. В. Способы подривания зарядів вибухових речовин. Навчальній посібник. Д.: ТОВ «Лізунов Прес», 2013. 88 с.

6. Граевский М. М., Ермошин В. Ф., Залесский П. С. и др. Защита зарядов взрывчатых веществ от преждевременных взрывов блуждающими токами. Под ред. М. М. Граевского. М.: Недра, 1987. 381 с.

7. Минеев С. П., Янжула А. С., Лосев В. И., Минеев А. С. Режим сотрясательного взрывания при проведении выработок. *Матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології ведення буровибухових робіт та безпека застосування гранульованих і емульсійних вибухових речовин. Їх економічна ефективність і технологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2016. С. 35–38.

8. Развитие мер безопасности при сотрясательном взрывании в шахтах / Колосюк В. П., Чебенко В. Н., Мурашко А. А., Колосюк А. В. К.: Ж. Уголь Украины, № 11-12, 2016. С. 33–39.

9. Колосюк В. П., Чебенко В. Н., Колосюк А. В. Меры безопасности при сотрясательном взрывании в угольных шахтах. *Матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології ведення буровибухових робіт та безпека застосування гранульованих і емульсійних вибухових речовин. Їх економічна ефективність і технологічна безпека»*. Кременчук: КрНУ, 2016. С. 49–53.

10. Колосюк В. П., Колосюк А. В. Предотвращение взрывов метана в шахтах при внезапных выбросах угля и газа защитным отключением электроэнергии. К.: Ж. Уголь Украины, № 11-12, 2017. С. 39–44.

**PREVENTION OF METHANE EXPLOSIONS AND CHARGES
OF EXPLOSIVES BECAUSE OF STATIC ELECTRIC IN MINES,
HAZARDOUS BY GAS**

V. Kolosyuk, V. Chebenko, V Artamonov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

A. Kolosyuk

Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture

vul. Heroyiv Nebesnyi Sotni, 14, г. Kramatorsk, 84333, Ukraine.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

Purpose. Justification of measures to prevent explosions of methane and explosive charges from static electricity in gas mines. **Methodology.** We have applied the experimental and mathematical simulation. We have correlated the simulated result with the experimental data and made proposals for decisions. **Results.** To prevent explosions of charges from static electricity, it is necessary to ensure the reduction of the energy of its spark discharge to a value of not more than 0, 2 mJ, i.e. less than the minimum ignition energy of an explosive methane-air mixture of 0,25 mJ, which also ensures that methane explosions in mine workings are prevented from static electricity. It is confirmed that the permissible energy of electrostatic discharge is provided if the surface resistance of the material of flexible ventilation pipes and conveyor belts does not exceed 109 Ohms, which justifies the norm for the indicated resistance of $3 \cdot 10^8$ Ohms. Under operating conditions, in order to neutralize static electricity and prevent methane and unauthorized explosions from explosives, it is necessary to ground metal parts installed on ventilation pipes and conveyor belts, or (and) artificially increase relative humidity in mine workings to 70% based on the use of irrigation systems. In addition to general measures for drilling and blasting and gas control, passports of drilling and blasting should also include electrostatic safety measures. Before loading the drill holes, it is recommended to monitor the resistance of the metal elements of the ventilation pipes to the ground in the area of the explosive pipeline laying, the integrity of the insulation of the wires themselves, and the explosive pipeline to lay on the other side than becoming the pipes of the local ventilation unit. **Originality.** For the first time, substantiated measures to prevent explosions of methane and explosives charges from static electricity generated on the elements of flexible ventilation pipes and conveyor belts in gas mines. The conditions for the formation of explosive concentrations of methane in mine workings, as well as dangerous charges of static electricity on the metal elements of the ventilation pipes and conveyor belts are described.

Practical value. It is recommended, based on research results, to make appropriate amendments to the blasting passports. References 10, tables 3, figures 2.

Key words: methane, explosive charge, insulation, electrostatic charge.

REFERENCES

1. Kayimakov, A. (1982), *Vzryvobezopasnost rudnichnogo elektrooborudovaniya*, [Explosion safety of miner electrical equipment] Nedra, Moscow, Russia.
2. Zalesskiy, P., Ykhno, S. (1989), *Zaschita gornoshahtnogo oborudovaniya ot staticheskogo elektrichestva*, [Protection of mining equipment from static electricity] Nedra, Moscow, Russia.
3. Kolosyuk, V., Chebenko, V. (2014), "The required speed of protective disconnection of especially explosion-proof electrical equipment", *Suchasni resurso-energozberigauchi tehnologii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 14, pp. 187–198.
4. Tkachuk, S., Kolosyuk, V., Ykhno, S. (2000), *Vzryvopozharobezopasnost gornogo oborudovaniya*, [Fire and explosion safety equipment] Kyiv, Ukraine.
5. Sobolev, V., Chernay, A., Chebenko, V., Skobenko, O. (2013), *Sposobi pidrivannya zaryadiv vibuhovih rehovin. Navchalny posibnik.*, [Ways of blasting charges of explosives. Tutorial.] Lizunov Pres, Dnipro, Ukraine.
6. Graevskiy, M., Yermoshyn, V., Zalesskiy, P. (1987), *Zaschita zaryadov vzryivchatyih veschestv ot prezhdvremennyih vzryivov bluzhda-yuschimi tokami*, [Protection of explosive charges against premature explosions with stray currents], Nedra, Moscow, Russia.
7. Mineyev, S., Yangula, A., Losev, V., Mineyev, A. (2016), "The mode of shaking blasting during excavations", *Materialy XIII Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Suchasni tekhnolo-hii vedennia burovybukhovykh robit ta bezpeka zastosuvannia hranulovanykh i emulsiinykh vybukhovykh rehovyn. Yikh ekonomichna efektyvnist i tekhnolohichna bezpeka»*, [Materials of the XIII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Modern technologies of drilling and safe operation of granular and emulsion explosives. Their economic efficiency and technological safety"], Kremenchuk, 2016, pp. 35–38.
8. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A., Chebenko, V., Murashko, A. (2016), "The development of safety measures in shocking blasting in mines", *Ugol Ukrainyi*, no. 11-12, pp. 33–39.
9. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A., Chebenko, V. (2016), "Security measures in shocking blasting in coal mines", *Materialy XIII Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Suchasni tekhnolo-hii vedennia burovybukhovykh robit ta bezpeka zastosuvannia hranulovanykh i emulsiinykh vybukhovykh rehovyn. Yikh ekonomichna efektyvnist i tekhnolohichna bezpeka»*, [Materials of the XIII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Modern technologies of drilling and safe operation of granular and emulsion explosives. Their economic efficiency and technological safety"], Kremenchuk, 2016, pp. 49-53.
10. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A. (2017), "Prevention of methane explosions in mines with sudden coal and gas emissions through protective power outages", *Ugol Ukrainyi*, no. 11-12, pp. 39–44.

Стаття надійшла 19.12.2018.