

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВСПЫШЕК МЕТАНА ОТ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С НАГРЕВАЮЩИМИСЯ ЭЛЕМЕНТАМИ

З. М. Иохельсон, докт. техн. наук, О. И. Кацуба, докт. техн. наук, Л. И. Скляр, канд. техн. наук, А. С. Дурак, инж. (МакНИИ), А. З. Задорожный, инж. (ООО «Интер-РТИ»)

Наведено результати досліджень по визначенню оптимальних концентрацій метану для випробувань на вибухозахищеність рудничного електроустаткування з елементами, що нагріваються, з метою удосконалення методики таких випробувань і виключення ймовірності спалахів метану в шахтах від зазначеного устаткування.

Возможность предотвращения вспышек метана и пожаров в шахтах от рудничного электрооборудования с нагреваемыми элементами зависит от совершенства методики испытаний этого электрооборудования на взрывозащищенность. Обеспечение взрывозащиты рассматриваемого оборудования возможно при условии учета множества факторов, обусловленных физическими и химическими явлениями. Учет всех этих факторов математически представляет пока неразрешимую задачу. Поэтому во всех странах оценку взрывозащищенности указанного электрооборудования осуществляют экспериментальными методами. При испытании взрывозащиты рудничного электрооборудования (РЭ) с нагреваемыми элементами (НЭ) необходимо знать оптимальные концентрации метана в смеси с воздухом для различных случаев оценки безопасных свойств рассматриваемых элементов. В известных литературных источниках такая информация отсутствует [1]. Решение этого вопроса является целью данной статьи.

Исследованиями, выполненными в МакНИИ, установлено, что поверхности неокисляющихся НЭ будут иметь минимальные предельные воспламеняющие температуры при содержании метана в воздухе в пределах 5,5...6,0% по объему. Это объясняется тем, что воспламенение метана при указанных температурах НЭ сопровождается большим индукционным периодом, что обуславливает необходимость избытка кислорода в смеси метана с воздухом по сравнению со стехиометрическим составом (9,5% метана в воздухе) [1] для обеспечения большей частоты столкновения молекул метана с молекулами кислорода и исключения тормозящего действия продуктов реакции окисления метана на ее дальнейшее течение. На рис. 1 представлены зависимости воспламеняющих температур НЭ из различных материалов от концентрации метана в воздухе, на котором интервал концентрации метана в воздухе 5,5...6,0% определялся с помощью плана Фибоначчи [2].

Абсолютное значение погрешности определения концентрации метана в этих опытах не превышало $\pm 0,25\%$. Смесь метана с воздухом приготавливалась

в резиновой подушке. Концентрация метана в воздухе определялась с помощью лабораторного интерферометра модели ИТР-1. Из резиновой подушки смесь метана с воздухом впускалась во взрывную камеру, из которой предварительно с помощью вакуумного насоса откачивался воздух. Уровень разрежения во взрывной камере фиксировался посредством вакуумметра класса точности 0,6. Концентрация метана в воздухе дополнительно контролировалась путем отбора проб газа непосредственно из взрывной камеры и анализа его с помощью хроматографа. Температуры цилиндрических НЭ измерялись посредине их нижних кромок, когда оси этих элементов были параллельны горизонтальной плоскости, поскольку при этом указанные НЭ имеют минимальные предельные воспламеняющие температуры. Температуры измерялись эталонным оптическим пирометром ЭОП-51. Относительная погрешность измерения температур при проведении экспериментов не превышала $\pm 6,0\%$. Питание НЭ осуществлялось от источника постоянного тока. Использовались электроизмерительные приборы классов точности 0,2 и 0,5.

При испытании НЭ на взрывозащищенность испытательная метановоздушная смесь с содержанием метана 5,5...6,0% используется для установления минимальных предельных воспламеняющих метан температур указанных

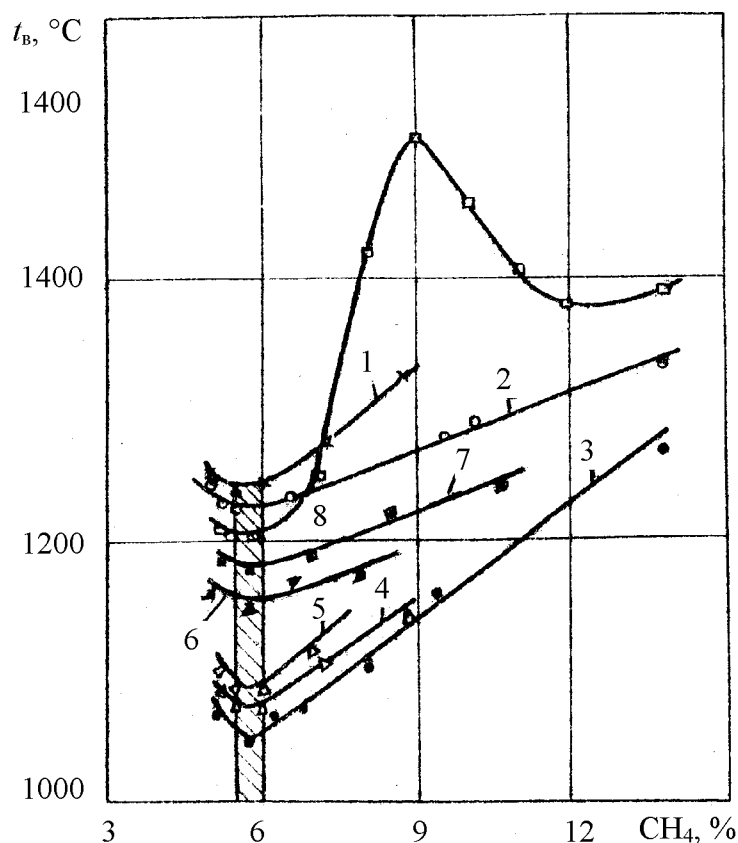


Рис. 1. Зависимости воспламеняющих температур ($t_{в}$) НЭ (средних значений по пяти опытам) из различных материалов от концентрации метана в воздухе: 1 – спираль никромовая на цилиндрическом асбестоцементном носителе (наружный диаметр $D_{ц}$ и длина l по 5,5 мм, диаметр проволоки $d = 0,31$ мм, шаг навивки спирали $h = 0,45$ мм); 2 – то же ($D_{ц} = l = 7,0$ мм); 3 – то же ($D_{ц} = l = 21,3$ мм); 4 – цилиндр из окиси алюминия с платиновым нагревателем ($D_{ц} = l = 14,9$ мм); 5 – цилиндр из окиси алюминия, покрытый платинопалладиевым составом с платиновым нагревателем ($D_{ц} = l = 14,9$ мм); 6 – керамический цилиндр из шамота с платиновым нагревателем ($D_{ц} = l = 14,0$ мм); 7 – спираль платиновая в кварцовой изоляции ($D_{ц} = l = 12,0$ мм, $d = 0,3$ мм, $h = 0,3$ мм); 8 – спираль платиновая на цилиндрическом асбестоцементном носителе ($D_{ц} = l = 10,0$ мм, $d = 0,2$ мм, $h = 0,3$ мм)

элементов [3] и возможности воспламенения метана НЭ при их максимальных температурах, которые могут возникнуть в процессе шахтной эксплуатации РЭ.

Платиновая спираль имеет максимальную воспламеняющую температуру при 9,0% метана в воздухе (рис. 1). Отмеченная особенность объясняется максимальным проявлением каталитических свойств платины по отношению к метану при указанной его концентрации в воздухе, более интенсивным течением реакции окисления метана у каталитической поверхности по сравнению с некаталитической и быстрым обволакиванием каталитической поверхности продуктами реакции, экранирующими горючий газ от нагретых слоев. Последнее обстоятельство обуславливает необходимость повышения температуры каталитической поверхности для обеспечения передачи от нее достаточного количества тепла слоям газа, отделенным от каталитической поверхности барьером из продуктов реакции [1].

При содержании 9,0% метана в воздухе НЭ, обладающие каталитическими свойствами, имеют максимальную температуру (рис. 2). Поэтому измерения максимальных температур НЭ с каталитическими свойствами и температур камер, в которых они находятся, необходимо выполнять при содержании 9,0% метана в воздухе (погрешность измерения не должна превышать $\pm 0,5\%$).

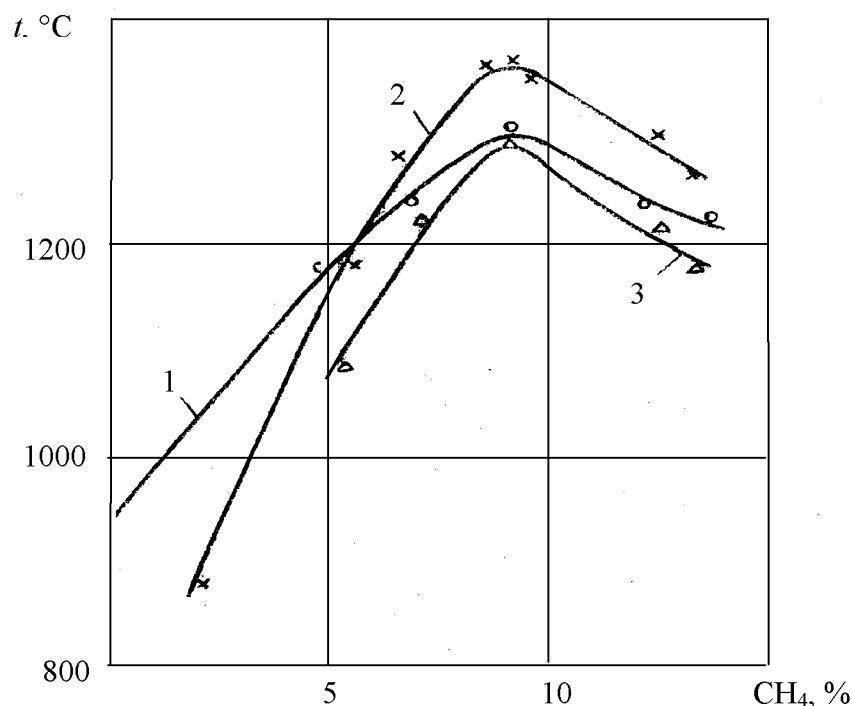


Рис. 2. Зависимости температур t термокаталитических НЭ (рабочих термоэлементов [3] метан-реле типа СШ-2 диаметром 1,5 мм, длиной 2,0 мм, представляющих собой платиновые спирали на цилиндрических носителях из окиси алюминия, покрытые платино-палладиевым составом) от концентрации метана в воздухе при постоянных параметрах этих НЭ: 1 — напряжение $U = 1,55$ В; 2 — ток $I = 0,55$ А; 3 — мощность $P = 0,7$ Вт

Примечание. Зависимости 1, 2 и 3 построены по средним значениям температур ТЭ, полученных на основании двух измерений при каждом значении концентрации метана в воздухе, составленной по парциальному давлению и определявшейся с погрешностью не

более $\pm 0,5\%$ (по данным ряда исследований погрешности определения концентраций горючих газов для разных условий находятся в пределах $0,2...0,5\%$).

Температуры некаталитических НЭ измерялись посредине нижних кромок в их горизонтальном положении (оси цилиндров были параллельны горизонтальной плоскости) оптическим пирометром ЭОП-51. При одних и тех же электрических параметрах некаталитические НЭ имеют одинаковую температуру нагрева в воздухе и смеси $9,0\pm 0,5\%$ метана с воздухом, что видно из приведенных в табл. 1 и 2 данных измерения температур нихромовых спиралей на цилиндрических асбестоцементных носителях и электродов люминесцентных ламп (ЛЛ). Относительная ошибка измерения температур при проведении этих экспериментов не превышала $1,0\%$. Учитывая изложенное выше, при проведении испытаний некаталитических НЭ максимальные температуры нагрева некаталитических НЭ и температуры камер, в которых они находятся, можно измерять в воздухе.

Таблица 1. Параметры НЭ при одной и той же силе тока в воздухе и метановоздушной смеси с содержанием метана $9,0\pm 0,5\%$

Ток НЭ, А	Параметры НЭ (средние значения по 5 опытам)					
	в воздухе			в метановоздушной смеси		
	напряжение, В	мощность, Вт	температура, °С	напряжение, В	мощность, Вт	температура, °С
Наружный диаметр НЭ $D = 5,6$ мм; длина $l = 2,7$ мм; диаметр проволоки спирали $d = 0,31$ мм, шаг навивки спирали $h = 0,45$ мм						
2,5	6,4	16,0	920	6,5	16,2	924
2,9	7,4	21,5	1060	7,5	21,8	1062
3,3	8,4	27,7	1190	8,6	28,4	1194
3,7	9,6	35,5	1300	9,7	35,9	1310
$D = l = 6,8$ мм, $d = 0,31$ мм, $h = 0,45$ мм						
1,7	9,0	15,3	820	9,1	15,5	822
2,1	11,4	23,9	930	11,4	23,9	930
2,5	14,0	35,0	1120	14,0	35,0	1122
2,9	16,0	46,4	1250	16,0	46,4	1254
$D = l = 21,0$ мм, $d = 0,31$ мм, $h = 0,45$ мм						
1,3	62,0	80,6	800	62,0	80,6	800
1,7	81,0	137,7	913	81,0	137,7	914
2,1	100,7	211,5	1059	100,7	211,5	1060
2,3	110,8	254,8	1140	110,8	254,8	1142

Таблица 2. Параметры электродов ЛЛ мощностью 4,6 и 8 Вт в воздухе и смеси $9,0 \pm 0,5\%$ метана с воздухом при разрушенных колбах

Мощность ЛЛ, Вт	Температура, °С	Напряжение, В		Сила тока, мА		Количество опытов
		среднее значение	среднеквадратическое отклонение	среднее значение	среднеквадратическое отклонение	
в воздухе						
4; 6	500	5,5	0,3	77,1	3,3	20
8	500	4,0	0,4	136,0	3,1	20
в метановоздушной смеси						
4; 6	500	5,5	0,3	77,7	3,4	20
8	500	4,0	0,4	137,2	3,2	20

Испытания и исследования искробезопасности НЭ проводят в метановоздушной смеси с содержанием метана $8,0 \dots 8,6\%$, возможности воспламенения метановоздушной смеси нагревательным элементом из вольфрама и молибдена – в смеси $9,6 \dots 10,0\%$ метана с воздухом [4].

Выводы

1. Чем выше температура источника воспламенения метана, тем ближе оптимальное содержание его в воздухе к стехиометрическому составу.

2. При содержании метана в воздухе в пределах $5,5 \dots 6,0\%$ нагревательные элементы имеют минимальные предельные воспламеняющие температуры.

3. При содержании метана в воздухе в пределах $8,0 \dots 8,6\%$ электрическая искра с температурой порядка 10000 К рассеивает свою энергию в критическом объеме газа, доводя его температуру до температуры горения метана, что приводит к воспламенению всего объема метановоздушной смеси в зоне искрообразования.

4. При $9,6 \dots 10,0\%$ метана в воздухе вольфрамовые и молибденовые НЭ воспламеняют эту газовую смесь в результате горения паров и окислов вольфрама и молибдена.

1. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва. – М.: Изд. МГУ, 1957. – 452 с.

2. Васильев Ф. П. Лекции по методам решения экстремальных задач. – М.: Изд. МГУ, 1974. – 375 с.

3. Иохельсон З. М. Основные принципы обеспечения взрывозащиты нагреваемых элементов рудничного электрооборудования в зависимости от их способности окисляться // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка–Донбасс: Ротапринт МакНИИ, 1998. – С. 214–219.

4. Сальцевич Л. А. Взрывобезопасность рудничных светильников // Горная электротехника. – М.: Углетехиздат, 1957. – С. 439–460.