

УДК 622.8:621.31

## ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ НАГРЕВАЮЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*З. М. Иохельсон, докт. техн. наук, О. И. Кашуба, докт. техн. наук,  
А. С. Дупак, инж. (МакНИИ)*

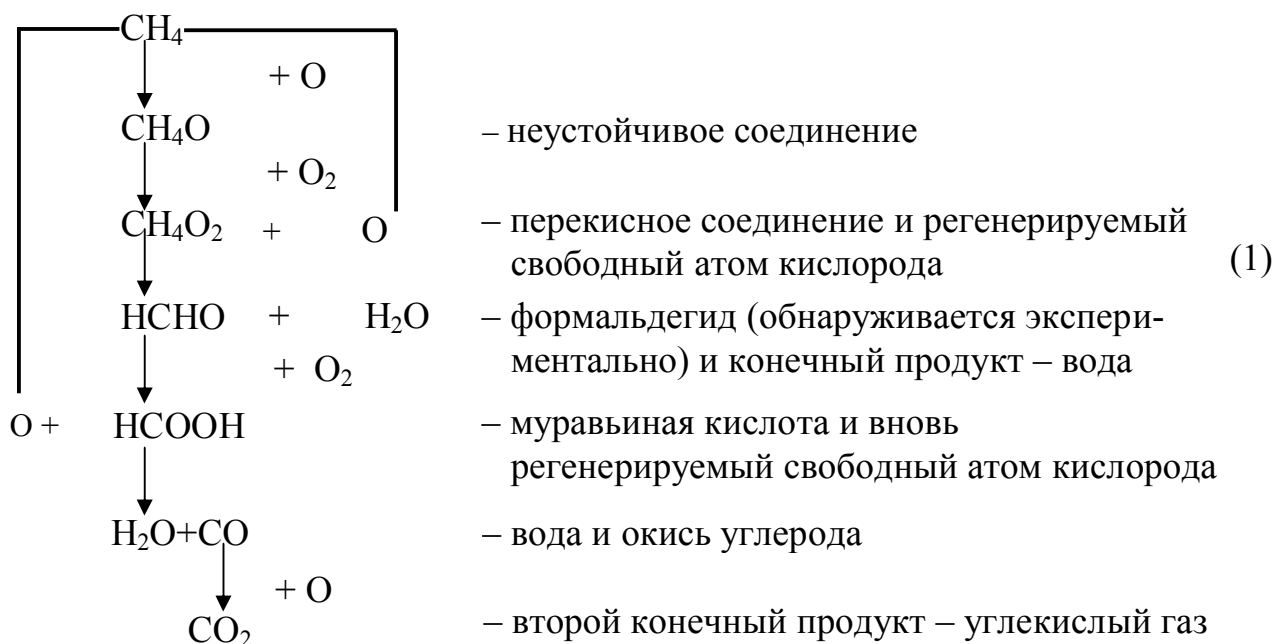
*Викладено принципові положення стосовно вибухозахисту елементів рудникового електроустаткування з урахуванням усіх факторів, які мають місце в процесі шахтної експлуатації зазначених елементів.*

*Изложены принципиальные положения, касающиеся взрывозащиты элементов рудничного электрооборудования с учетом всех факторов, имеющих место в процессе шахтной эксплуатации указанных элементов.*

*The fundamental positions according explosion protection of mine electric equipment elements in view of all factors which take place during mine operation of above mentioned elements are stated.*

Обеспечение эффективной взрывозащиты нагреваемых элементов (НЭ) рудничного электрооборудования (РЭ) [1] требует глубоких знаний основных механизмов, обуславливающих воспламенение указанными элементами метана в смеси с воздухом.

Несмотря на успехи в развитии физики, химии, физической химии, химической кинетики, до сих пор пользуются более или менее гипотетическими схемами, даже при рассмотрении такой простейшей химической системы, как  $\text{CH}_4 + \text{O}_2$ . Существует ряд вероятных гипотетических (виртуальных) схем окисления метана с частичным экспериментальным подтверждением. Одна из них [2]:



Свидетельством тому, что окисление метана идет через элементарные реакции, являются два обстоятельства: необходимость поджигания метано-воздушной смеси (передачи указанной газовой смеси определенного количества тепловой энергии) и сравнительно большой индукционный период воспламенения рассматриваемой газовой смеси (задержки воспламенения смеси с момента соприкосновения ее с источником тепловой энергии до момента воспламенения, достигающей у метано-воздушной смеси порядка 15 с [3]). Тепловая энергия необходима для диссоциации молекул газовой смеси на атомы, а индукционный период включает диссоциацию молекул и течение цепи элементарных реакций до наступления воспламенения реагентов. Причем индукционный период очень быстро уменьшается с повышением температуры источника тепловой энергии и при некотором значении последней практически близок к нулю [3]. Метано-воздушная смесь при внесении в нее пламени источника нагрева с температурой, близкой к температуре горения метана, воспламеняется практически мгновенно.

В связи с тем, что на течение реакции окисления метана может влиять множество факторов (температура, давление, влажность газа, примеси в нем и т. д.), естественны виртуальные пути развития этой реакции, когда количественные изменения могут обусловить различный качественный результат в промежуточных продуктах окисления рассматриваемого газа. Существуют различные теоретические взгляды на механизм окисления горючих газов, из которых наиболее приемлемыми для объяснения процесса воспламенения метана являются перекисная теория окисления углеводородов акад. А. Н. Баха, цепная и тепловая теории акад. Н. Н. Семенова [2, 3].

В соответствии с тепловой теорией горения и взрывов акад. Н. Н. Семенова воспламенение метана в смеси с воздухом может быть осуществлено двумя способами:

1) нагревом всего объема горючей газовой смеси до некоторой температуры, называемой температурой самовоспламенения горючего газа, которая обуславливает развитие самоускоряющегося процесса горения в газе;

2) воспламенением горючей газовой смеси в некоторой точке источником воспламенения – нагретым твердым телом (спиралью лампы накаливания, электродом люминесцентной лампы, катодом электронной лампы, термоэлементом датчика газового контроля, терморезистором, резистором, проводником и т.д.), электрической искрой, пламенем, после чего пламя, образовавшееся в ограниченном объеме, распространяется на весь объем. Температуру поверхности нагретого твердого тела, при которой происходит воспламенение горючего газа, называют воспламеняющей температурой этого тела, которая связана с температурой воспламенения горючего газа посредством индукционного периода [3].

Анализ имеющихся экспериментальных данных показывает, что на условия воспламенения горючего газа нагретой поверхностью твердого тела влияет множество факторов, определяемых в основном: условиями передачи тепла от нагретого твердого тела горючему газу, что обуславливается физическими свойствами и состоянием нагретого твердого тела и горючего

газа; условиями массообмена горючего газа у поверхности нагретого тела; химическими свойствами поверхности нагретого тела; химико-кинетическими свойствами горючего газа. Учет всех этих факторов математически представляет пока неразрешимую задачу.

С учетом всех факторов получена эмпирическая зависимость минимальной предельной воспламеняющей температуры НЭ РЭ  $t_b$ , °С, от их диаметров  $D_{НЭ}$  и длин  $l$  [1]:

$$t_b = 1130 + 230/D_{НЭ} + (120\sqrt{D_{НЭ}})/l . \quad (2)$$

Формула (2) справедлива для практически неокисляющихся НЭ диаметром  $D_{НЭ} = 0,5 \dots 10$  мм и длиной  $l \geq 0,5$  мм (если НЭ сферической формы,  $l = D_{НЭ}$ ). С учетом (2) безопасная температура НЭ РЭ  $t_6 \leq t_b/1,5$  [1].

Оптимальная концентрация метана в воздухе при воспламенении указанной горючей смеси от поверхностей НЭ РЭ находится в пределах 5,5...6,0 %. Это связано с наличием большого индукционного периода при минимальных предельных воспламеняющих температурах НЭ, что требует избытка кислорода на каждую молекулу метана для обеспечения развития самоускоряющегося процесса его окисления.

Если поверхности НЭ обладают каталитическими свойствами по отношению к метану, то максимальные температуры нагрева они будут иметь с одними и теми же напряжениями, токами или мощностями при концентрации метана в воздухе, находящейся в пределах 8,5...9,5 % [3]. Однако для обеспечения безопасности НЭ с каталитической поверхностью эта температура не должна превышать температуры  $t_6$ .

Любые НЭ цилиндрической формы будут иметь минимальную воспламеняющую метан температуру, когда они будут параллельны горизонтальной плоскости в связи с особенностями их теплоотдачи в таком положении. Это необходимо учитывать при измерении минимальных воспламеняющих температур НЭ.

Исходя из тепловой теории горения и взрывов акад. Н. Н. Семенова, предотвращение воспламенения метана от поверхностей НЭ может быть обеспечено за счет создания вокруг НЭ определенного тепломассообмена, при котором из зоны реакции вокруг НЭ отводится больше тепла, чем выделяется за счет реакции окисления метана, а продукты реакции тормозят распространение этой реакции на весь объем метана в смеси с воздухом вокруг устройства с НЭ. На этом принципе работает инфракрасный (ИК) излучатель с параболоидным отражателем, в фокусе которого находится нихромовая спираль. Такой излучатель выдержал испытания на взрывозащищенность в МакНИИ.

На основании исследований, выполненных в МакНИИ, установлено, что взрывозащита окисляющихся НЭ в части воспламенения метана их нагретыми поверхностями [1] может быть обеспечена для любого уровня взрывозащиты

РЭ ограничением температур указанных НЭ до безопасных величин в длительном режиме работы (НЭ из меди – до 300 °С, никеля – до 450 °С, молибдена и вольфрама – до 500 °С) и в кратковременном режиме работы (НЭ из меди, никеля и вольфрама – до 1000 °С, молибдена – до 900 °С) при условии снижения температур НЭ при кратковременном режиме работы до безопасных температур длительного режима работы. Воспламенение метана НЭ из молибдена и вольфрама происходит при температурах, превышающих соответственно 900 и 1000 °С, обуславливающих интенсивное окисление указанных металлов. В этом случае наиболее легко воспламеняется метано-воздушная смесь с содержанием метана  $9,8 \pm 0,2$  %, близкая к стехиометрическому составу [3]. При превышении температурами окисляющихся НЭ безопасных величин взрывозащита этих элементов может быть обеспечена:

в длительном режиме работы – с помощью устройств автоматического защитного отключения со временем отключения до 100 мс;

в кратковременном режиме работы – с помощью взрывонепроницаемых оболочек или равноценных видов взрывозащиты [1].

Минимальные воспламеняющие и искробезопасные параметры электрических искр, возникающих в электрических цепях с НЭ при разрушении последних, с увеличением температуры искрообразующих электродов снижаются вследствие прогрева взрывоопасной газовой среды электродами в зоне искрообразования и уменьшения доли энергии, отводимой электродами из электрического разряда.

В связи с тем, что в шахтных электрических сетях, от которых питаются устройства и аппараты с НЭ, возможны отклонения от номинального значения и колебания напряжения, обеспечение поддержания безопасных параметров НЭ может быть достигнуто путем поддержания необходимого уровня напряжения на НЭ посредством ограничителей или стабилизаторов напряжения, которые должны конструироваться таким образом, что при выходе их из строя напряжение на НЭ не должно подаваться.

Предотвращение воспламенения угольной пыли НЭ, которой они могут покрываться и засыпаться в процессе шахтной эксплуатации, может быть достигнуто ограничением температур поверхностей НЭ до безопасной величины в части воспламенения угольной пыли (150 °С в длительном и 450 °С в кратковременном режимах нагрева), защитой НЭ от угольной пыли механически прочными устройствами [1], отключением НЭ от источников питания за время, исключающее загорание угольной пыли (менее 1,4 с).

1. *Иохельсон З. М.* Обеспечение взрывозащиты нагреваемых элементов РЭ // Уголь Украины. – 1999. – № 3. – С. 39–40.

2. *Горное дело: Энциклопедический справочник.* – М.: Углетехиздат, 1959. – Т. 6. – С. 193–200.

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