

А.Т. Ерыгин, А.Ю. Охапкин

**ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ НАГРЕТЫХ
ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ**

Получено эмпирическое выражение, позволяющее рассчитать произвольные параметры взрывоопасности любых горючих бинарных газопаровоздушных смесей, нагретых до температур, достигающих $0,5 t_{\text{смес.}}$

Ключевые слова: взрывоопасные смеси, энергии воспламенения, нагретые горючие смеси.

Воспламеняемость взрывоопасных смесей принято определять при нормальной температуре от 18 до 25 °С. Эта температура является неотъемлемой частью методик и измерений параметров взрывоопасности горючих смесей: безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ), отношения минимальных токов воспламенения исследуемой и метановоздушной смесей (МТВ); значений минимальных воспламеняющих токов (МТВ); удельной воспламеняющей мощности (УВМ); минимальной энергии воспламенения (МЭВ). Между тем, температура взрывоопасных смесей, в которых эксплуатируется взрывозащищенное электрооборудование, может достигать 100 °С и более. Приведенные в научно-технической литературе отдельные данные свидетельствуют о снижении параметров взрывоопасности горючих смесей с повышением их температуры [1]. Практически все результаты измерения параметров взрывоопасности нагретых горючих смесей были получены Н.Д. Гавриленко [1]. Он определил МЭВ 28 горючих смесей в диапазоне температур от 25–150 °С. Цикл исследований воспламеняемости ряда нагретых взрывоопасных смесей, проведенных в ИПКОН РАН в 2005-2007 гг. дополнил имеющиеся данные. В ИПКОН РАН определялся другой параметр взрывоопасности – УВМ для 6 горючих смесей в диапазоне температур 20–150 °С. В табл. 1 представлены величины МЭВ для 6 взрывоопасных смесей, полученные Н.Д. Гавриленко. В той же таблице представлены также температуры самовоспламенения для тех же смесей. Также здесь представлены и величины показателя термической зависимости смеси P_T .

Таблица 1
Зависимость МЭВ взрывоопасных смесей
от температуры их нагрева

Газ		Температура смеси, °С						t _{смеси} , °С
		25	50	75	100	125	150	
Метан	МЭВ, мДж	0,300	0,275	0,250	0,239	0,203	0,167	537
	П _т	1	0,962	0,935	0,899	0,833	0,76	
Пропан	МЭВ, мДж	0,475	0,442	0,405	0,354	0,320	0,266	466
	П _т	1	0,966	0,928	0,882	0,831	0,761	
Этан	МЭВ, мДж	0,292	0,275	0,231	0,214	0,211	0,208	515
	П _т	1	0,974	0,895	0,862	0,859	0,853	
i-Бутан	МЭВ, мДж	0,375	0,340	0,318	0,295	0,285	0,282	405
	П _т	1	0,954	0,924	0,893	0,879	0,874	
Этилен	МЭВ, мДж	0,121	0,085	0,075	0,075	0,066	0,062	435
	П _т	1	0,852	0,814	0,800	0,753	0,732	
Водород	МЭВ, мДж	0,0110	0,0092	0,0085	0,0075	0,0070	0,0051	528
	П _т	1	0,920	0,891	0,841	0,810	0,698	

Этот показатель рассчитывается как отношение параметров взрывоопасности смеси P_{pV} , определенных при i-той температуре нагрева и определенных при нормальной температуре (20–25°C).

$$\frac{P_{pVi}}{P_{pVi0}} \quad (1)$$

Для МЭВ это отношение немного видоизменяется:

$$P_t = (MЭВ_{ti} / MЭВ_{t0})^{0,467} \quad (2)$$

Это является следствием из известного соотношения [2]:

$$PВ = МТВ = \frac{БЭМЗ_k}{БЭМЗ_{CH_4}} = \frac{УВМ_k}{УВМ_{CH_4}} = (MЭВ_k / MЭВ_{CH_4})^{0,467} \quad (3)$$

где ПВ – показатель взрывоопасности взрывоопасной смеси по отношению к метановоздушной.

Далее, в табл. 2, приводятся экспериментальные данные по определению УВМ тех же взрывоопасных смесей по оригинальной методике ИПКОН РАН.

Анализ данных, представленных в табл. 1 и 2, показывает, что зависимость как МЭВ, так и УВМ от температуры взрывоопасной смеси может быть описан выражением:

Таблица 2

Зависимость УВМ и P_t взрывоопасных смесей от температуры их нагрева

Газ	Температура, °С	УВМ, Вт/мм	P_t
Метан	20	2,48	1,000
	67	2,25	0,967
	102	2,14	0,863
	151	1,93	0,778
Этан	20	1,93	1,000
	71	1,77	0,917
	100	1,65	0,855
	149	1,48	0,767
Пропан	20	1,83	1,000
	73	1,85	0,902
	111	1,48	0,809
	155	1,30	0,710
Бутан	20	2,02	1,000
	67	1,80	0,891
	95	1,62	0,802
	153	1,37	0,678
Этилен	19	1,36	1,000
	74	1,18	0,858
	97	1,09	0,801
	145	0,89	0,654
Водород	18	0,69	1,000
	87	0,59	0,855
	115	0,52	0,754
	155	0,45	0,652

$$P_t(t) = (1 - t_i - t_0 / t_{\text{свсп}} - t_0)^{1,11}, \quad (4)$$

где t_i – текущая температура нагрева смеси; t_0 – нормальная (базовая) температура нагрева смеси; $t_{\text{свсп}}$ – температура самовоспламенения смеси.

Обе группы экспериментальных данных (Н.Д. Гавриленко и ИПКОН РАН) описывается единым выражением (4). Строго говоря, доказательство этого утверждения основано на критериях Стьюдента (для однородности двух групп измерений) и Р.Фишера (для равнозначности двух групп измерений) [3].

Поскольку зависимость МЭВ и УВМ взрывоопасных смесей от температуры описывается единым выражением, то можно сделать вывод о том, что соотношение (2) справедливо и для температур до 150° . Дополнительным подтверждением этого вывода может быть расчет скорости горения взрывоопасных смесей – еще одной их ха-

рактистикой, определенной для температур до 615 °К. Расхождение между экспериментальными данными и расчетными величинами скорости горения для метановоздушной и пропановоздушной смесей не превышает $\pm 12,3\%$ и $\pm 20,9\%$ соответственно [4].

Кстати, расхождение между экспериментальными данными Н.Д. Гавриленко и величинами МЭВ, рассчитанными по формуле (4), не превышает $\pm 12\%$. Лишь для определенных взрывоопасных смесей разница в этих величинах достигает $\pm 18\%$.

Таким образом, полученное эмпирическое выражение (4) позволяет рассчитать произвольные параметры взрывоопасности любых горючих бинарных газопаровоздушных смесей, нагретых до температур, достигающих $0,5 t_{\text{смвсп}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарь В.А., Веревкин В.Н., Гескин А.И. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр./ М.: Недра. – 1976. – 304 с.
2. Охалкин А.Ю. Разработка методики оценки взрывобезопасности нагретых тел малого размера в бинарных и многокомпонентных взрывоопасных смесях рудничной атмосферы./ Автореферат дисс. канд. техн.наук. – М.: ИПКОН РАН. – 2002. – 15 с.
3. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений./ Л.: Лениздат. – 1987. – 295 с.
4. Петренко Б.А. Воспламеняемость газов и физические основы электро-взрывобезопасности./ М.: Наука. – 1989. – 150 с. **ИДБ**

A.T. Erygin, A.J. Ohapkin

FLAMMABILITY OF HEATED EXPLOSIVE MIXES

The empirical expression, allowing to calculate free parameters of explosion hazard of any combustible binary gas-steam-air mixes, heated to the temperatures reaching $0,5 t_{\text{mix flammability}}$ is received.

Key words: explosive mixes, flammability energy, heated combustible mixes.

Коротко об авторах

Ерыгин А.Т. – зав. отделом, профессор, доктор технических наук,
Охалкин А.Ю. – ст. научный сотрудник, кандидат технических наук, ИП-
КОН РАН, info@ipkonran.ru

