

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

О ВОСПЛАМЕНЕНИИ МЕТАНО-ВОЗДУШНЫХ ВЗВЕСЕЙ  
УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

А. Б. Рыжик, В. С. Махин

(Ленинград)

Взрывчатая атмосфера угольных шахт часто представляет собой тройную систему (метан+угольная пыль+воздух). Механизм пылевых взрывов изучен менее полно, чем газовых, а исследования тройных смесей ограничены лишь отдельными разрозненными работами [1—3]. Имеются указания [2, 4], что метан, содержащийся в шахтной атмосфере, повышает опасность взрыва, причем, предел воспламенения углевоздушной смеси (750—1105°C) выше, чем метано-воздушной (550—610°C). Вместе с тем в [3] отмечается, что температура за фронтом инициирующей ударной волны в метано-воздушной смеси (1100—1200 К) должна быть выше, чем в пылевоздушной (750 К).

В настоящей работе исследуются особенности воспламенения тройной смеси. В качестве твердого горючего использовалась угольная пыль марки «Ж» с размером частиц до  $8 \cdot 10^{-5}$  м.

Эксперименты по определению критических условий воспламенения и его временных характеристик в областях, не слишком удаленных от пределов, проводились в равномерно обогреваемой герметичной трубчатой печи [5, 6] с газовзвесями, образуемыми при инжектировании навески образца в реакционную камеру через расширяющееся сопло. Диаметр камеры составлял 0,053 м, ее длина — 0,530 м. Однородность концентрационных полей достигалась за счет оптимальных параметров пневматического импульса. Концентрация пыли во всех опытах была постоянной и составляла  $0,330 \text{ кг/м}^3$ , что соответствовало минимуму температуры воспламенения ее воздушной взвеси (450°C). В этом случае, согласно опытным данным, характер температурной зависимости периода индукции  $\tau$  с точностью до 5% описывается выражением типа

$$\tau = 4,9 \cdot 10^{-4} \exp(8500/RT) \text{ с}, \quad (1)$$

где  $T$  — абсолютная температура среды;  $R$  — газовая постоянная.

В тройной системе критическая температура  $T_0$  есть возрастающая функция содержания метана (рис. 1, 2), причем после минимума температуры на кривой для метано-воздушной смеси (рис. 1, 1) критические условия для обеих сред совпадают. Эти результаты свидетельствуют о газофазном механизме воспламенения пылеугольных частиц и хорошо согласуются с квазистационарной моделью теплового взрыва газодисперсных систем, предложенной в [7, 8]. Согласно [7, 8], начиная от критической температуры взвесь реагирует в квазистационарном режиме, температуры частиц и газа вначале растут, оставаясь близкими, а состав газа — постоянным. Когда температура газа  $T_r$

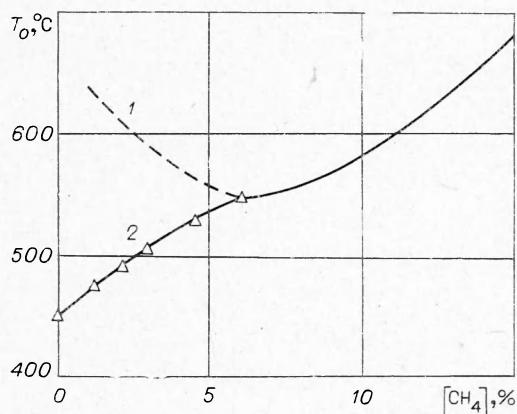


Рис. 1.

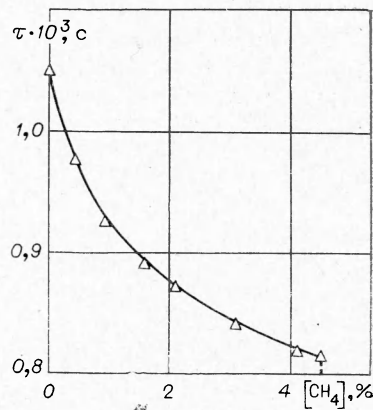


Рис. 2.

поднимется до температуры воспламенения одиночной частицы  $T_*$ , теплоотдача в газ становится малой по сравнению с тепловыделением, и  $T_*$  на некоторое время отрывается от  $T_r$ .

Поскольку газификация угольной пыли облегчена, во время квазистационарного предвзрывного разогрева происходит выделение летучих веществ (для данной марки пыли — в основном метана [2]), и состав газа в системе изменяется от инертного до способного к воспламенению. Таким образом, в отличие от гетерогенного воспламенения, рассмотренного в [7, 8], при газофазной реакции максимальная температура и длительность предвзрывного разогрева должны определяться критическими условиями, относящимися к образующейся воздушной смеси продуктов газификации. Воспламенение твердого остатка частиц становится возможным только после воспламенения газа. Именно способностью газодисперсных сред к большим квазистационарным разогревам, в течение которых может быть достигнута температура воспламенения газообразных продуктов, обусловлены, в частности, более низкие значения критических температур для воздушной взвеси угольной пыли (450°C), чем для метано-воздушной смеси (550—610°C).

Снижение температуры среды вызывает возрастание индукционного периода в тройной смеси и увеличение концентрации летучих к моменту воспламенения. Предел воспламенения тройной смеси соответствует случаю, когда концентрация летучих достигает значения, соответствующего минимуму температуры на критической кривой (см. рис. 1) для незапыленной смеси газов. Поэтому добавка метана к воздушной взвеси угольной пыли, вызывая отклонение концентрации летучих к моменту воспламенения от стехиометрического значения, приводит к повышению предела воспламенения тройной смеси.

С целью установления роли метана в широком диапазоне температур среды проведено совместное решение зависимости (1) и уравнения, относящегося к воспламенению метано-воздушной смеси [2],

$$\tau = 10^{-12} \exp(57000/RT) \text{ с.} \quad (2)$$

Обе задержки сравниваются при граничной температуре, равной 1200 К. Несмотря на то, что в тройной системе закон для  $\tau$  должен отличаться от (1) и (2), возникновение точки пересечения может рассматриваться как указание на реально существующий уровень температуры, ограничивающий положительное и отрицательное влияние метана на воспламенение угольной пыли.

Исследование воспламенения тройной смеси при высоких температурах проводилось на ударной трубе длиной 7,5 м с внутренним диа-

метром 0,1 м (длина камеры высокого давления составляла 3 м) [9]. Образование газозвеси происходило за отраженной ударной волной в результате взаимодействия скачка уплотнения с поверхностью тонкого слоя пыли, помещенного у закрытого торца трубы. В качестве характеристики процесса воспламенения использовался индукционный период, определяемый как интервал времени между моментами отражения волны и возникновением свечения твердых частиц. Число Маха волны было постоянным и равнялось 3,5, что соответствовало температуре в отраженной волне, равной 1800 К.

Установлено, что индукционные задержки с увеличением содержания метана непрерывно сокращаются вплоть до значений, соответствующих воспламенению 4,5%-ной метано-воздушной смеси (рис. 2). Вблизи этого значения концентрации происходит срыв зависимости (штриховая линия на рис. 2), обусловленный концентрационным пределом воспламенения метана, и в дальнейшем индукционные задержки в метано-воздушной и тройной смесях не различаются между собой. В этих условиях воспламенение первоначально развивается в метане, и лишь затем происходит подключение реакций, протекающих на частицах.

Таким образом, роль метана в процессе воспламенения углевоздушных взвесей не однозначна и определяется температурой среды.

*Поступила в редакцию  
24/XI 1976,  
после доработки — 18/X 1977*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Б. Бекирбаев и др. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах. М., Госгортехиздат, 1959.
2. Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. Промышленные взрывчатые вещества. М., «Недра», 1973.
3. Ф. М. Гельфанд. Предупреждение аварий при взрывных работах в угольных шахтах. М., «Недра», 1972.
4. Б. Е. Долгов, Д. Г. Левицкий. Взрывчатость каменноугольной пыли. Харьков — Одесса, «Вугілля та руда», 1933.
5. А. Б. Рыжик, Б. С. Лимонов, В. С. Махин. — В сб.: Физика аэродисперсных систем. Вып. 12. Киев — Одесса, «Вища школа», 1975.
6. А. Б. Рыжик, В. С. Махин, Б. С. Лимонов. — В сб.: Физика аэродисперсных систем. Вып. 15. Киев — Одесса, «Вища школа», 1977.
7. Э. Н. Руманов, Б. И. Хайкин. ФГВ, 1969, 5, 1, 129.
8. В. И. Лисицин, Э. Н. Руманов, Б. И. Хайкин. ФГВ, 1971, 8, 1, 3.
9. А. Н. Ханукаев, Ю. А. Юрманов, А. Б. Рыжик и др. ФТПРПИ, 1974, 3, 124.

---

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЮЩЕГО ПЛАМЕНИ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

*А. Е. Давыдов, В. С. Аbruков, С. А. Аbruков*

*(Чебоксары)*

В настоящей работе излагаются результаты интерферометрического исследования модели резонансного вибрационного горения — диффузионного поющего пламени, представляющего собой пример осесимметричной оптической неоднородности, находящейся в прозрачной цилиндрической камере. Использовался голографический метод двойной