

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Иванов, Л. И. Кочкин и др. ФГВ, 1974, 10, 1.
2. А. Г. Иванов, В. Н. Минеев и др. ФГВ, 1974, 10, 4, 603.
3. C. R. Hoggar, R. F. Recht. Exp. Mech., 1969, 9, 10.
4. P. C. Johnson, B. A. Stein, R. S. Davis. Symposium on Dynamic Behavior of Materials. ASTM Spec. Tech. Publ., № 336, 1962.
5. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, 1963, 1.
6. M. H. Rice. RST, 1961, 32, 4.

УДК 536.468

О ПРЕДЕЛАХ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Л. А. Ловачев

Проблемы определения пределов распространения пламен (пределов воспламенения) в газовых смесях рассматривались в обзоре [1]. Пределы, которые измеряются в стандартных трубах [2, 3] или иных малоразмерных сосудах [2, 4], не сопоставлялись с данными для достаточно больших объемов, соответствующих условиям практического применения. Влияние всевозможных схем зажигания [5] не было систематически изучено и обобщено. Основные данные по пределам получены для точечных источников зажигания [2—4]. Такой специфичный выбор не был проверен и противоречит общепринятому определению понятия предела воспламенения [1, 2]. Еще менее приемлемо зажигание точечными источниками околораздельных турбулизованных смесей, так как возрастание характеристик теплопереноса, свойственное турбулентным пламенам, сопровождается увеличением минимально необходимого зажигающего очага. Другая возможная крайность при опытном измерении пределов воспламенения в малоразмерных сосудах — выжигание фактически негорючей смеси излишне большим источником зажигания [1, 2]. Таким образом, возможности применимости данных по пределам воспламенения к большим объемам остаются не проверенными.

В работе [6] рассматривается и состояние проблемы определения пределов воспламенения. Все принятые в разных странах методы измерения характеристик взрываемости пылевоздушных смесей основаны на применении малоразмерных труб или сосудов [7—9]. Исследование взрывчатости угольных пылей в длинных галереях отличается особой специфичностью [10] и в настоящей статье обсуждаться не будет. Данные отечественной справочной литературы по пылям неметаллических материалов [11] основаны, главным образом, на результатах и методах [12]. Всем данным по пределам воспламенения пылей свойственна та же неопределенность, что и по газовым смесям [1—5]. Для пылей ситуация еще более осложняется трудностями диспергирования частиц в воздухе. Влияние турбулентности на пределы воспламенения пылей не изучалось [13].

Рассмотрим некоторые вопросы соответствия между пределами воспламенения для газов и для пылей (см. таблицу). В первой колонке приводятся значения для метана. Соответствующие данные для других более тяжелых углеводородов будут очень мало отличаться от $K=1,8$

и $\Delta T = 1300^\circ\text{C}$. Видно, что K и ΔT для пылей имеют иной смысл (ΔT для пылей вычислено по грубой оценке $\Delta T_{\text{стех}}/K$). Теория горения должна была бы ответить на вопрос — возможно ли неограниченное распространение пламен в пылевоздушных смесях со средним разогревом во фронте пламени $\Delta T = 60\text{—}20^\circ\text{C}$ при исходной комнатной температуре. Ясно, что ничего подобного для газоздушных пламен не наблюдалось. Если бы такие газовые пламена существовали, то скорости их распространения были бы меньше чем 10^{-10} см/с (здесь для экстраполяции значений скорости использованы многочисленные данные [14]). При этом гасящий размер этих пламен [1] составлял бы сотни тысяч километров. Следовательно, измерять пределы воспламенения таких пламен в трубе с диаметром 10 см [12] было бы невозможно. По-видимому, все это говорит о том, что существование газоздушных пламен с разогревом $\Delta T = 60\text{—}20^\circ\text{C}$ невозможно. Вряд ли можно предполагать, что есть какие-то особенности горения пылей нафталина или сахара, которые увеличивали бы скорость их пламен в 10^{10} раз по сравнению с углеводородами в газовой фазе. Таким образом, данные по бедным пределам пылей, которые приведены в таблице [12] и которые рекомендуются [11] применять на практике, представляются заниженными в 20—40 раз. Очевидно, что и все остальные многочисленные данные [11, 12], измеренные по одной и той же методике, должны быть подвергнуты сомнениям.

По-видимому, самые надежные данные по пределам воспламенения пылей будут получены при исследованиях в космосе [15], где отпадает проблема диспергирования пылей. Однако маловероятно, что космические лаборатории будут систематически использоваться для измерения пределов воспламенения всех пылей. Поэтому необходима разработка адекватных методов в земных условиях.

Параметры	Метан (газ)	Нафталин (пыль) [11, 12]	Сахар $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (пыль) [11, 12]	Сера (пыль) [11, 12]
Стехиометрическая концентрация [стех.]	9,5	100	292	290
Концентрация на бедном пределе [бедн. пр.] . . .	5,3	2,5	8,9	2,3
$\bar{K} = \frac{[\text{стех.}]}{[\text{бедн. пр.]}}$	1,8	40	33	125
Разогрев во фронте пламени на бедном пределе ΔT , $^\circ\text{C}$	1300	50	60	20

Примечание. Концентрация метана в объемных процентах, концентрация пылей в воздухе в г/м³.

Столь низкие значения бедных пределов (см. таблицу) объясняются, скорее всего, тем, что зажигающая керамическая пластина нагревается до температур 1100°C [16]. Здесь мы, вероятно, встречаемся не с явлением распространения пламени, а с выгоранием пылевоздушной смеси над зажигающей пластиной. При этом не существенна величина адиабатического разогрева смеси ΔT , так как в данном случае она в 20—50 раз меньше, чем температура зажигающей поверхности.

Институт химической физики
АН СССР

Поступила в редакцию
26/V 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. L. A. Lovachev, V. S. Babkin a. o. *Combustion and Flame*, 1973, **20**, 259.
 2. H. F. Coward, G. W. Jones. *US Bur. Mines Bull.*, 1952, **503**.
 3. ГОСТ 13919—68.
 4. M. G. Zabetakis. *US Bur. Mines Bull.*, 1965, **627**.
 5. L. A. Lovachev. *Combustion and Flame*, 1971, **17**, 275.
 6. K. N. Palmer. *Dust Explosions and Fire*, Chapman and Hall, London, 1973.
 7. I. Hartmann. *Chem. Eng. Progress*, 1957, **53**, 3, 107.
 8. H. G. Dorsett, M. Jacobson a. o. *US Bur. Mines Bull.*, 1960, RI 5624.
 9. J. Nagy, E. C. Seiler a. o. *US Bur. Mines Bull.*, 1971, RI 7507.
 10. D. Rae. 14-th Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, Pa., 1973, p. 1225.
 11. Пожарная опасность веществ и материалов. Справочник. Под ред. И. В. Рябова. М., Стройиздат, 1966.
 12. М. Г. Годжелло. Взрывы промышленных пылей и их предупреждение. М., Изд. МХХ РСФСР, 1952.
 13. R. Friedman. *Combustion and Flame*, 1974, **23**, 139.
 14. J. B. Fenn, H. F. Calcote. 4-th Symposium (International) on Combustion, Williams a. Wilkins, Baltimore, 1953, p. 231.
 15. A. L. Berlad. Combustion Modeling for Experimentation in a Space Environment, Presented at the Tech. Meet. of West. Sect. of the Comb. Inst. (21—22 October 1974).
 16. В. Т. Монахов. Методы исследования пожарной опасности веществ. М., «Химия», 1972.
-