

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕТАНОВОЗДУШНОГО ПЛАМЕНИ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА

М. А. Гликин, Л. М. Савицкая, А. Д. Тюльпинов

(Северодонецк)

Развитие технологии процессов окисления в реакторах с псевдоожженным слоем твердого материала приводит к необходимости исследования распространения в нем пламени. В [1] приводятся результаты экспериментов по исследованию гашения пламени псевдоожженным слоем высотой 0,1—0,15 м. Рассматривается эффект взаимодействия пламени со всем слоем насадки при переменной порозности. Определено критическое значение порозности, при котором пламя проходит через всю насадку. Дальнейшие исследования показали, что гашение существенно отличается от систем со стационарным слоем. Если диаметр каналов стационарного слоя критический, то длина пути пламени соизмерима с шириной зоны химической реакции [2]. При распространении пламени в псевдоожженный слой с порозностью, равной или меньшей критической, гашению предшествует больший участок пути. Исходя из этого представлялось целесообразным определить величину проникновения пламени в псевдоожженный слой L при переменных порозности ϵ и температуре T .

Эксперименты проводили на установке (рис. 1) с диаметром основного аппарата 0,05 м. В качестве псевдоожжаемого материала использовали силикагель диаметром 0,0015—0,002 м. Высота псевдоожженного слоя 0,09—0,20 м. Псевдоожжение проводили смесью природного газа с воздухом стехиометрического состава. Температура слоя устанавливалась электроподогревом реактора и предварительным нагревом воздуха. Горючее и окислитель смешивали перед реактором под псевдоожженным слоем. Горение инициировали искрой от высоковольтного индуктора. Глубину проникновения пламени в слой определяли электродом и визуально. Экспериментальное определение высоты псевдоожженного слоя, особенно в момент подхода к нему пламени, представляет некоторые трудности ввиду постоянного движения верхней поверхности слоя. Поэтому предварительно по изменениям в течение 300 с определяли минимальную и максимальную высоту слоя в зависимости от расхода и температуры и вычисляли среднюю величину.

Высоту слоя определяли визуально через смотровое окно. По экспериментальным данным строили график $H_{сл} = f(M, T)$, где M — расход газа

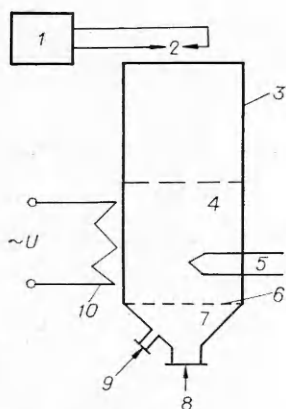


Рис. 1. Схема установки.

1 — высоковольтный индуктор; 2 — электроды; 3 — корпус реактора; 4 — псевдоожженный слой твердого материала; 5 — термомпара; 6 — газораспределительная решетка; 7 — зона смешения газов; 8 — подача воздуха; 9 — подача метана; 10 — электроподогрев реактора.

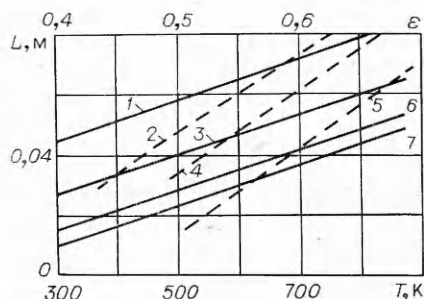


Рис. 2. Зависимость глубины проникновения пламени в слой частиц силикагеля диаметром 0,015—0,020 м от порозности слоя при постоянной температуре слоя (сплошные линии) и от температуры слоя (штриховые линии).

ϵ : 1 — 0,6, 2 — 0,55, 3 — 0,5, 4 — 0,48, 5 — 0,4, 6 — 0,35, 7 — 0,3; T , К: 1 — 773, 2 — 573, 3 — 293.

в реактор. Отклонение минимального и максимального значения от средней величины увеличивается с ростом порозности и достигает 10% при $\epsilon = 0,6$. По средним значениям рассчитывали порозность слоя

$$\epsilon = (H_{\text{сл}} - 0,6H)/H_{\text{сл}},$$

где $H_{\text{сл}}$ — средняя высота псевдооживленного слоя; 0,6 — доля твердой фазы в неподвижном слое; H — высота слоя, находящегося в неподвижном состоянии. При исследовании распространения пламени устанавливали определенный расход смеси, по графику $H_{\text{сл}} = f(M, T)$ принимали высоту псевдооживленного слоя и вычисляли ϵ .

Эквивалентный диаметр каналов слоя определяли из соотношения [3]

$$d_0 = 2\epsilon d / [3(1 - \epsilon)],$$

где d — диаметр псевдооживленных частиц.

В результате проведенных исследований установлено, что с ростом порозности слоя и температуры глубина проникновения пламени возрастает (рис. 2). Обработка результатов эксперимента позволила получить уравнение

$$L = L_0 + 0,3(\epsilon - \epsilon_0) + 6,6 \cdot 10^{-5}(T - T_0)$$

с граничными условиями: $0,4 < \epsilon < 0,75$, $293 < T < 973$, где L_0 — глубина проникновения пламени в слой при параметрах слоя ϵ_0 и T_0 . Если принять L равной высоте псевдооживленного слоя, можно вычислить критическую порозность, ниже которой пламя локализуется слоем.

Теоретический и практический интерес представляет сравнение гасящих свойств неподвижного и находящегося в псевдооживленном состоянии слоев. Сравнение проводим по величине эквивалентного диаметра. Определение критического диаметра смеси для статического слоя проведено рядом исследователей [4—8], причем разброс данных составляет $2,1 \cdot 10^{-3}$ — $4,1 \cdot 10^{-3}$ м. В работе [8] в качестве наиболее достоверной величины критического диаметра для метановоздушной смеси стехиометрического состава при 293 К рекомендуется $4,1 \cdot 10^{-3}$ м. При движении смеси критическое значение критерия Пекле ($Re_{\text{кр}}$) либо остается неизменным, либо в 2—3 раза больше, чем в слое с неподвижным газом [8]. При скорости потока выше величины нормальной скорости пламени зона горения внутри стационарного слоя не распространяется. Поэтому наибольшая определенная величина эквивалентного диаметра псевдооживленного слоя $1,7 \cdot 10^{-3}$ м, соответствующая глубине проникновения пламени $5 \cdot 10^{-2}$ м (см. таблицу), ниже, чем критический диаметр у стационарного при тех же параметрах смеси.

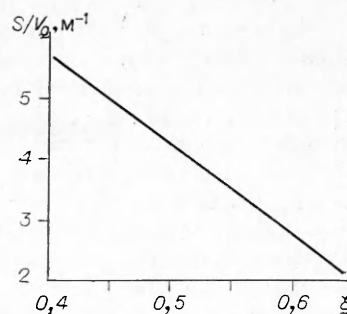
Установлено, что на пределе гашения пламени в стационарном слое соблюдается постоянство величины Re . Согласно [8], для стационарного слоя $Re_{\text{кр}} = 71$, где $Re_{\text{кр}} = u_{\text{п}} d_{\text{кр}} / \kappa_0$; $u_{\text{п}}$ — нормальная скорость пламени; $d_{\text{кр}}$ — критический диаметр каналов; κ_0 — температуропроводность газовой фазы. Обработка результатов экспериментов по гашению пламени в псевдооживленном слое показала (см. таблицу), что при температуре 293 К

Критерий Re при различных L в слое частиц силикагеля диаметром 0.0015—0.0020 м

T , К	$u_{\text{п}}$, м/с	ϵ^*	$d_0 \cdot 10^3$, м*	Re^*	T , К	$u_{\text{п}}$, м/с	ϵ^*	$d_0 \cdot 10^3$, м*	Re^*
773	1,65	0,53	1,1	76	473	0,63	0,59	1,4	38
		0,47	0,8	56			0,54	1,2	29
673	1,30	0,55	1,15	55	373	0,45	0,62	1,6	30
		0,49	0,9	44			0,57	1,3	25
573	0,90	0,54	1,2	47	293	0,34	0,65	1,7	25
		0,51	1,05	38			0,60	1,4	20

* Величины числителя при $L = 0,05$ м, знаменателя при $L = 0,03$ м.

Рис. 3. Изменение отношения поверхности теплоотдачи и объема охлаждаемого газа от порозности слоя.



и давлении 0,4 МПа значения Re в 3 раза меньше $Re_{кр}$ для стационарного слоя. Причем с ростом температуры Re существенно увеличивается. Расчет значения Re для псевдоожигенного слоя проведен с использованием величины эквивалентного диаметра, рассчитанной по приведенной выше формуле с учетом ε , соответствующей определенной величине L .

Эффект гашения пламени обусловлен теплоотдачей от газа к слою и описывается уравнением

$$q = a(T_{г} - T)/(S/V_0),$$

где S/V_0 — отношение поверхности теплоотдачи псевдоожигенных частиц и объема охлаждаемого газа; a — коэффициент теплообмена; $T_{г}$ — температура пламени; T — температура частиц.

В условиях данного эксперимента, например, для псевдоожигенного слоя с $\varepsilon = 0,63$ при $L = 0,05$ м и $T = 293$ К $S/V_0 = 2,5$ м⁻¹ (рис. 3). Для стационарного слоя шариков с критическим диаметром каналов (диаметр шаров $9,3 \cdot 10^{-3}$ м) $S/V_0 = 6,2$ м⁻¹. Таким образом, поверхность теплопередачи в псевдоожигенном слое в 2,5 раза меньше, чем у стационарного слоя. Этим в известной степени объясняется ухудшение гасящих свойств псевдоожигенного слоя по сравнению со стационарной насадкой.

Поступила в редакцию 8/XII 1982,
после доработки — 24/X 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Гликин, Л. М. Савицкая и др. ФГВ, 1979, 15, 1.
2. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 11, 1.
3. М. Э. Аэров, О. М. Тодес, О. А. Наринский. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Л.: Химия, 1979.
4. И. И. Стрижевский, В. Ф. Заказов. Промышленные огнепреградители. М.: Химия, 1974.
5. Flame Proof Enclosure of Electrical Apparatus. British Standards Institution. London, 1957, 229.
6. К. Akita. Nemprio Kekaisi, 1968, 47, 492.
7. С. А. Wilson. Ind. Eng. Chem., 1959, 51.
8. А. И. Розловский. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия, 1980.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛАМЕНИ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТОПЛИВА

В. П. Самсонов
(Чебоксары)

Процесс распространения ламинарного диффузионного пламени по поверхности горючего материала в неподвижной окислительной среде полностью определяется способом поступления реагентов в зону горения и механизмом передачи тепла из зоны горения впереди пламени. В настоящее время не достигнуто отчетливого понимания того, какой из способов переноса массы и энергии впереди пламени является основным: диффузия, свободная конвекция, теплопроводность или излучение [1, 2]. Такая неосведомленность имеет место даже в простейшем случае пренебрежимо малого влияния гравитации [1].