

А.А.Жирнов, Г.И.Горелов

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ВИХРЕВЫХ КАМЕР
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

V_t, V_r - тангенциальная и радиальная составляющие полного вектора скорости; r - текущий радиус вихревого реактора; r_0 , r_c - начальный радиус и радиус выходного отверстия вихревого реактора; $\bar{r} = r/r_0$ - относительный радиус вихревого реактора; n - показатель степени, пределы изменения $-1 \leq n \leq 1$; V_{t0}, V_{tc} - тангенциальные составляющие полного вектора скорости на начальном радиусе и радиусе выходного отверстия вихревого реактора; $M_t = V_t / \sqrt{kRT}$ - число Маха; k - показатель адиабаты; R - универсальная газовая постоянная; T - температура; d - диаметр частиц горючего; η - коэффициент сопротивления частицы; ρ_T - плотность частицы горючего; ρ - плотность окислителя; ν_0 , ν_c - кинематическая вязкость окислителя на начальном радиусе и радиусе выходного отверстия вихревого реактора; q - приведенная теплонапряженность вихревого термохимического реактора, кВт/м³.Мн.

Свыше 90% всей энергии в мире вырабатывается в результате сжигания различных видов химического топлива. Очевидно, что в ближайшее будущее энергосиловые установки, использующие химическую энергию топлива, будут превалировать над энергетическими установками, использующими другие виды энергии [1]. Одним из основных элементов энергосиловых установок является система сжигания - термохимический реактор, к которому предъявляются высокие и разнообразные требования: по полноте сгорания топлива, диапазону устойчивой работы, многотопливности, уровню токсичности продуктов сгорания, гидравлическим потерям.

Применение вихревого принципа организации рабочего процесса в профилированном термохимическом реакторе в значительной мере удовлетворяет этим требованиям.

Вихревой поток обладает высокой диспергирующей способностью, а наличие поля центробежных сил, в свою очередь, приводит к рас-

слению топливной смеси, что позволяет эффективно решить проблему тепловой защиты стенок реактора. Профилирование торцовых стенок вихревого реактора обеспечивает длительное удержание частиц горючего в зоне термической активации при минимальном гидравлическом сопротивлении реактора.

Сочетание этих качеств позволяет вихревому термохимическому реактору эффективно работать в зоне бедных смесей, снижая тем самым уровень токсичности продуктов сгорания.

Распределение окружных скоростей по радиусу вихревого реактора описывается зависимостью [2]

$$V_t r^n = \text{const} . \quad (1)$$

При установившемся радиальном распределении окружных скоростей по закону (1) частицы данной дисперсности имеют равновесный радиус, на котором результирующая сумма всех приложенных к частице сил равна нулю [3].

Для плоской схемы стока из условия равновесия сил, действующих на частицу в радиальном направлении, радиус равновесной орбиты определяется зависимостью

$$r = \frac{4}{3} \frac{d}{\eta} \frac{\rho_r}{\rho} \left(\frac{V_t}{V_r} \right)^2 . \quad (2)$$

Коэффициент сопротивления частицы является функцией числа Re .

Диапазон изменения числа Re для частиц максимального и минимального размеров, удерживаемых на соответствующих орбитах, запишется следующим образом:

$$Re_{max} = \frac{V_{to} d_{max}}{\nu_0} ; \quad (3)$$

$$Re_{min} = \frac{V_{tc} d_{min}}{\nu_c} . \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4), учитывая (1), получим

$$\frac{Re_{max}}{Re_{min}} = \frac{\nu_c}{\nu_0} \left(\frac{1}{F_c} \right)^{n+1} . \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что изменение числа Re по радиусу вихревого термохимического реактора определяется отношением радиуса реактора к радиусу выходного сопла и законом распределения окружных скоростей по радиусу вихревого реактора. Для зоны квази-

твердого вращения, где $n = -1$, число Re не зависит от изменения радиуса.

Имея в виду (5), можно предположить автомодельность Re в зоне вихря. Допуская также постоянство плотности несущего потока и частиц топлива по радиусу вихря, можно определить размер частиц, удерживаемых на соответствующих равновесных орбитах. Из выражения (2), учитывая (1) и сделанные допущения, получим

$$\frac{d_{max}}{d_{min}} = \left(\frac{1}{\bar{r}_c}\right)^{2n+1} \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что частицы размером более d_{min} будут удерживаться в реакционной зоне до их окисления.

Значение тангенциальной скорости на входе в реактор из условия удержания частиц заданного размера при известном перепаде давления ΔP может быть определено:

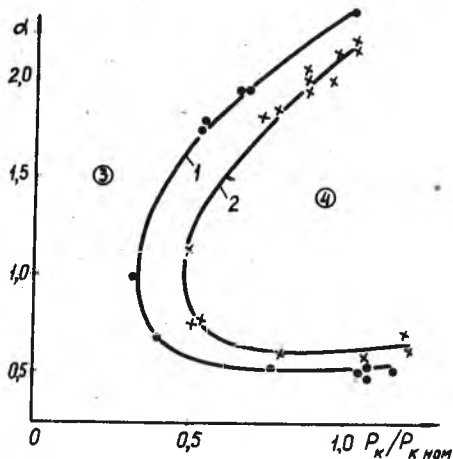
$$V_{t_0} = \sqrt{2\Delta P/\rho \cdot n / (1/\bar{r}_c)^{2n} - 1} \quad (7)$$

Закон профилирования торцовых стенок реактора при произвольном радиальном градиенте температур, отвечающий условию минимальных гидродинамических потерь $V_r = const$, выражается уравнением [4]

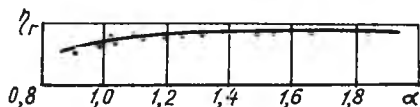
$$\bar{h} = \frac{1}{\bar{r}} \exp\left[\int \frac{M_t^2(\bar{r})}{L \bar{r}} d\bar{r}\right] \quad (8)$$

Принципиальная схема исследуемого термохимического реактора описана в работе [5].

Экспериментально получен устойчивый режим горения в широком диапазоне изменения коэффициента избытка окислителя ($\alpha = 0,6-2$) (рис. 1) на различных сортах бензина и дизельном топливе.



Р и с. 1. Влияние коэффициента избытка окислителя и давления на устойчивость процесса горения в вихревом термохимическом реакторе: 1 — бензин; 2 — дизельное топливо; 3 — область неустойчивого процесса горения; 4 — область устойчивого процесса горения



Р и с. 2. Изменение коэффициента полноты сгорания в зависимости от коэффициента избытка окислителя

сгорания достигает значений 0,975–0,985 при достигнутой приведенной тепловой напряженности

$$q = 30 \cdot 10^5, \text{ кВт/м}^3 \cdot \text{Мн} \cdot$$

Таким образом, вихревой принцип организации процесса горения в вихревом термохимическом реакторе с весьма ограниченными размерами реакционной зоны позволяет получить высокий коэффициент полноты сгорания при малых гидравлических потерях.

Л и т е р а т у р а

1. К у з н е ц о в И.В. Бездымные автомобили. - М., 1976.
2. Циклонные топки. Под ред. Кнорре Г.Ф., Наджарова М.А. - М.-Л., 1958.
3. Г о л ь д ш т и к М.А., С о р о к и н В.Н. О движении частицы в вихревой камере. - ПМТФ, 1968, № 6.
4. Ж и р н о в А.А., Ч е р н о в Ю.С., Г о р е л о в Г.И. Д з ю б а н А.М. Организация процессов внешнего смесеобразования и сгорания жидких углеводородных топлив в профилированных вихревых камерах. - М., 1978.
5. Ж и р н о в А.А., Г о р е л о в Г.И. Вихревая камера сгорания. А.с. № 589452, № 3, 1978.

Характеристика вихревого термохимического реактора по полноте сгорания в зависимости от коэффициента избытка окислителя при работе на бензине АИ-93 приведена на рис.2, откуда следует, что, начиная с $\alpha = 1,2$ и выше, полнота