

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПРЕГРАДЫ НА КРИТЕРИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ

Первышин А.Н., Самойлов П.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Предложенный в [1] критерий оценки технологической эффективности плазмохимических генераторов концентрированных потоков энергии (ПГКПЭ) может быть использован для определения к.п.д. при превращении химической энергии топлива в полезную работу технологического процесса, в частном случае в теплоту плавления материала в зоне реза.

В данной статье предложен алгоритм определения технологической эффективности и результаты расчётов для трех видов топлив, в которых в качестве окислителя использовался кислород, а качестве горючего - водород, пропан или метан. Исследовалось пять материалов алюминий, медь, железо, сталь и чугун. Начальная температура материала принималась равной температуре окружающей среды $T_0 = 300\text{K}$. Давление окружающей среды $P_h = 10^5 \text{ Н/м}^2$.

Непосредственно для расчета обобщенного критерия технологической эффективности необходимо задать следующие величины:

- термодинамические и теплофизические параметры продуктов сгорания, давление в камере сгорания p_k , коэффициент Пуассона k расходный комплекс β и температура торможения продуктов сгорания T_k , но так как последние три параметра зависят от вида ($K_{м.см.}$) и состава (α) топлива, то в широком смысле исходными данными являются параметры рабочей точки [2] кроме расхода топлива, т.к. рассчитывается удельный энергетический параметр ПГКПЭ;
- теплофизические свойства материала преграды (плотность ρ , удельная теплота плавления γ , температура плавления T_m)
- параметры окружающей среды (температура T_0 , давление p_h);
- коэффициент теплового взаимодействия продуктов сгорания с материалом преграды в режиме непрерывной резки K_p .

Расчёт выполняется в следующей последовательности:

1. Определение режима истечения из сопла.

Находим давление в камере сгорания, обеспечивающее критический режим истечения из сопла:

$$P_k^* = \left[\frac{k+1}{2} \right]^{\frac{k}{k-1}}.$$

Если заданное значение P_k превышает или равняется P_k^* , то расчет выполняется для сверхзвукового режима истечения, т.е.:

$$\lambda_a = \bar{\beta} = 1$$

В противном случае:

$$\lambda_a = \left[\frac{k+1}{k-1} \left(1 - (P_k / P_a)^{\frac{1-k}{k}} \right) \right]^{0.5},$$

2. Определение относительного расходного комплекса.

$$\bar{\beta} = \frac{1}{\lambda_a} \left[\frac{2}{k+1 - (k-1)\lambda_a^2} \right]^{\frac{1}{k-1}}$$

3. Определение обобщенного критерия технологической эффективности ПГКПЭ.

$$D = D^* f(\lambda_a),$$

где $D^* = 0,5 \pi^{0.5} Z_p p_h^{0.6} \beta^{1.5} C(k) p_k^{-0.1}$,

$$C(k) = \frac{k^2}{k-1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1+0.4k}{k-1}}$$

$$f(\lambda_a) = \lambda_a^{0.5} \left[\frac{2}{k+1 - (k-1)\lambda_a^2} \right]^{\frac{1.6k-0.5}{k-1}} = \lambda_a^{0.5} (\lambda_a \bar{\beta})^{1.6k-0.5},$$

$$Z_p = \psi_m K_p / \rho \gamma,$$

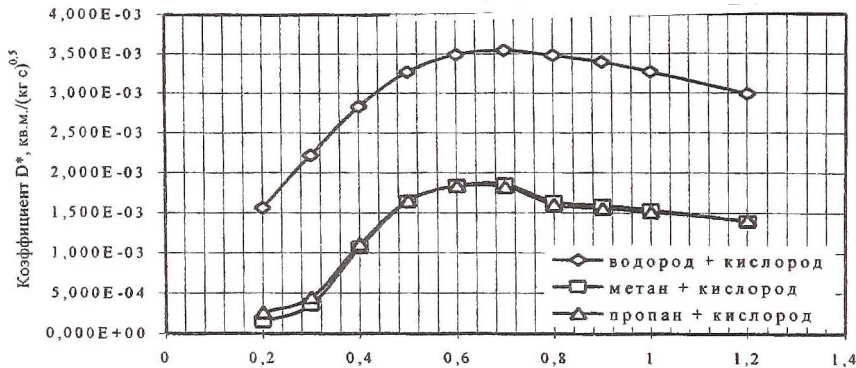
$$\psi_m = (T_k - T_m) / (T_k - T_o)$$

4. Определение скорости резки материала.

$$w_p = D m \tau^{0.5} / \delta$$

Влияние вида топлива, его состава и теплофизических свойств материала преграды исследовалось для давления в камере сгорания $p_K = 200$ кПа. Результаты расчета приведены на рис. 1 (материал преграды – алюминий). В случае других рассмотренных материалов характер зависимостей не менялся. Для каждого материала преграды и вида топлива можно выделить области α , отвечающие максимальной технологической эффективности D^* . В частности, наибольший D^* обеспечивает кислородно-водородное топливо при $\alpha = 0,6$.

Несколько уступают ему кислородно-пропановое и кислородно-метановое топлива.



Коэффициент избытка окислителя

Рис. 1. Зависимость коэффициента D^* от коэффициента избытка окислителя.

Примерно на том же уровне находятся и другие углеводородные горючие в паре с кислородом. Значительное снижение величины рассматриваемого критерия можно ожидать при замене кислорода на воздух, что связано со значительным балластированием продуктов сгорания азотом и его соединениями.

Результаты исследования влияния давления в камере сгорания на критерий технологической эффективности приведены на рис.2 (материал преграды — алюминий). Для остальных вышеуказанных материалов характер зависимости аналогичен.

Для всех материалов и видов топлив максимальное значение критерия достигается на критических расчетных режимах работы сопла. Причем с увеличением недорасширения критерий падает незначительно. В дозвуковой же области снижение давления в камере сгорания приводит к значительному падению D . Это связано со значительным возрастанием относительного расходного комплекса и снижением $f(\lambda_d)$ при уменьшении приведенной скорости на выходе из сопла на дозвуковых режимах его работы (рис.3). Однако в околзвуковой области принципиально важным является лишь незначительное снижение технологической эффективности. Причем в этом случае в струе отсутствуют скачки уплотнений, снижается шум, изменяется характер обтекания преграды. Часто эти обстоятельства могут иметь решающее значение.

Полученные результаты позволяют еще на стадии проектирования ПГКПЭ обоснованно подойти к выбору топливной композиции. При этом нужно учитывать и экономические факторы, наличие сырьевой базы, а также экологические характеристики топлив и продуктов их сгорания. Результаты расчетов и указанные выше соображения позволяют выделить в качестве наиболее подходящих кислородно-пропановое и кислородно-метановое топлива.

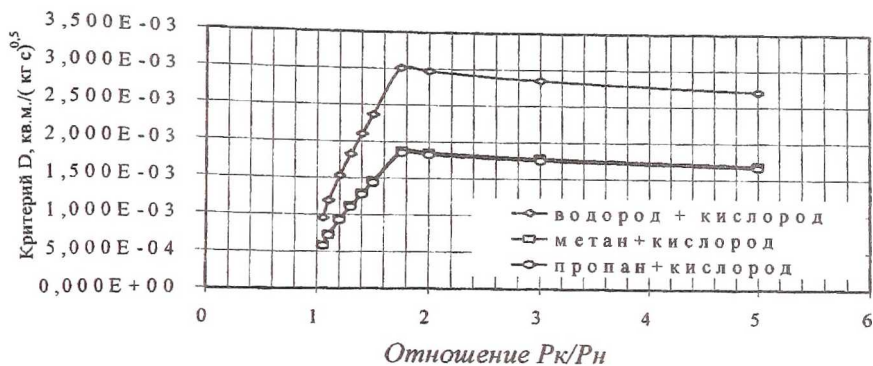


Рис. 2. Зависимость критерия D от отношения P_k/P_n

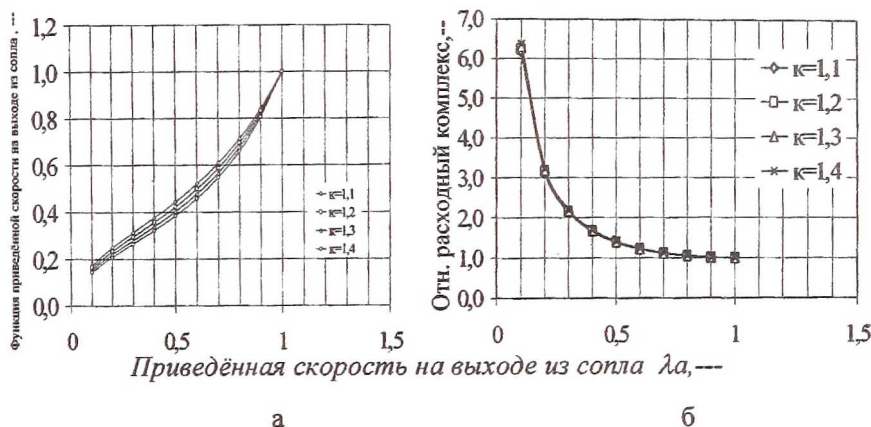


Рис.3. Зависимости функции приведенной скорости на выходе из сопла (а) и относительного расходного комплекса (б) от приведенной скорости λ_a

Список литературы

1. Термодинамическая модель и особенности организации рабочего процесса плазмохимических генераторов концентрированных потоков энергии : Отчет о НИР N 811 / СГАУ.- А.Н.Первышин, П.А.Самойлов - Самара, 1998.
2. Физико-математические основы проектирования химических генераторов концентрированных потоков энергии для разделительной газоструйной резки материалов: Отчет о НИР N 807 / СГАУ.- А. Н. Первышин, А. И. Косенко, В. С. Егорычев, В. Н. Царьков.