

## РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Юсеф В.М., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань, [wyasen@mail.ru](mailto:wyasen@mail.ru)  
Сыченков В.А., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань  
Давыдов Н.В., ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

В настоящей работе используется накопленный опыт моделирования рабочего процесса в зоне горения камер сгорания газотурбинного двигателя с применением реакторных схем.

Упомянутый опыт описывается в работах Ланския А.М. и Лонгвелла – Вейся [1], Дорошенко В.Е. [2], Янковского В.М. [3] и других авторов [4, 5, 6, 7]. В этих работах первичная зона моделируется реактором идеального смешения, в котором происходит мгновенное перемешивание горючего и воздуха, а зона догорания - реактором вытеснения. Математическая модель для определения основных параметров:  $T$  – температура,  $C_p$  – теплоемкость,  $\eta$  – полнота сгорания описана в частности в работах [2, 3]. В нашей работе исследованию подвергались модели зоны горения. Таким образом, используемая в расчете процессов реакторная модель имеет гибкий подход к решению проектирования камер сгорания различных типов.

В первичной зоне определялись следующие параметры:  $T_{n3}$  – температура горения,  $\eta_{n3}$  – полнота сгорания топлива,  $C_p^{n3}$  – теплоемкость смеси,  $\bar{g}_m^{n3}$ ,  $\bar{g}_s^{n3}$  – массовые концентрации реагентов (топлива и воздуха) и  $\alpha_{n3}$  – коэффициент избытка воздуха. Доля рециркулирующих в первичной зоне газов определяются:  $G_{pec} = R \cdot G_s^{эж} = \frac{n^2}{1-n} \cdot G_{cmp}$ ;  $G_{cmp}$  – смесь или воздух поступающие через пояс отверстий,  $n$  и  $m$  – доли воздуха от I пояса отверстий наружной и внутренней обечайки соответственно, попадающего в первичную зону

В зоне догорания определялись:  $T_{cm}$  – температура смеси и  $T_x$  – температура горения,  $\bar{g}_m^{cm}$ ,  $\bar{g}_s^{cm}$  – концентрации реагентов,  $\alpha_{32}$  – коэффициент избытка воздуха в зоне догорания,  $W_{xp}^{cm}$  – скорость химической реакции горения,  $\eta_x$  – полнота сгорания топлива.

Рассмотрим основные уравнения математической модели для каждого из трех случаев:

$$\alpha_{n3} = \frac{G_{gn3}}{g_m L_o} = \frac{nG_{an}^1 + mG_{as}^1 + G_{af}}{g_m L_o}$$

при  $\alpha_{n3} < 1.0$

$$T_{n3} = T_k * 1 + \varepsilon_{n3}(T_{n3,meop} - T_k * 1)$$

при  $\alpha_{n3} \geq 1.0$

$$T_{n3} = T_k * 1 + \frac{H_u \eta_{n3}}{(1 + \alpha_{n3} L_o) C_p}$$

при  $\alpha_{n3} < 1.0$

$$\eta_{n3} = \varepsilon_{n3} \alpha_{n3}$$

при  $\alpha_{n3} \geq 1.0$

$$\eta_{n3} = 1$$

при  $\alpha_{n3} < 1.0$

$$\alpha_{32} = \frac{G_{632}}{g_{m32} L_o} = \frac{(1-n)G_{61}^1 + (1-m)G_{66}^1}{(g_m \frac{G_{613}}{L_o}) L_o}$$

при  $\alpha_{n3} \geq 1.0$

$$\frac{d}{dx} \eta_x(x) = Bl \frac{D_{жс} F_{жс}}{G_o \alpha_{cm}} \left( \frac{\alpha_{\Sigma} L_o}{\alpha_{\Sigma} L_o + 1} \right)^2 \left( \frac{P_k H_{cm}}{R_o} \right)^2 \times$$

$$\times \frac{(1 - \eta_x(x)) [(\alpha_{\Sigma} - \varepsilon_{n3} y) - (1 - \varepsilon_{n3} y) \eta_x(x)]}{\left[ T_k + \frac{H_u}{(1 + \alpha_{\Sigma} L_o) 265 - \frac{0.021435 T_k}{1000}} [\varepsilon_{n3} y + (1 - \varepsilon_{n3} y) \eta_x(x)] \right]^{\frac{3}{2}}} e^{\left( \frac{E}{R_1 T_{n3}} \right)}$$

Значения полноты сгорания  $\eta_{\Sigma} = f(\bar{X})$  в зоне догорания, рассчитанные с учетом  $\eta_{x0} = \eta_{n3}$ , а также значений теплоемкости  $C_p$  и температуры  $T_x$ .

По результатам  $\eta_{\Sigma} = f(\bar{X})$  и с учетом  $T_{n3}$ , определялись значения выбросов  $NO_x$  по методике приведенной в работе Б.Г. Мингазова [8]:

$$O_2 = \frac{0.232 \left( \frac{\alpha_{cm}}{\eta} - 1 \right)}{1 + \alpha_{cm} L_o}; N_2 = \frac{0.768 \left( \frac{\alpha_{cm}}{\eta} - 1 \right)}{1 + \alpha_{cm} L_o};$$

$$NO_x = 37 * 10^{11} \sqrt{O_2} N_2 e^{\frac{-65000}{T_{n3}}} \sqrt{\frac{P_k}{T_{n3}}} \tau_{np}.$$

Далее в развитии работы оптимизировали параметры рабочего процесса в петлевой КС. Вначале провели расчет для определения геометрии по методике [8], затем для определения структуры течения в этой камере провели расчет в ПК Ansys Fluent. При обработке результатов (поля температуры) получили совпадение с экспериментальными данными рис. 1. что говорит о правильности численного расчета и возможности использовать результаты этого расчета для определения картины течения в камере сгорания после чего рассчитали по реакторной модели.

По результатам работы сделан вывод, что модель расчета характеристик может быть использована для доводочных испытаний камер сгорания так как по ней можно рассчитать значения полноты сгорания, температуры горения, коэффициента избытка воздуха и выбросы окислов азота  $NO_x$ , по длине жаровой трубы и на выходе из нее.

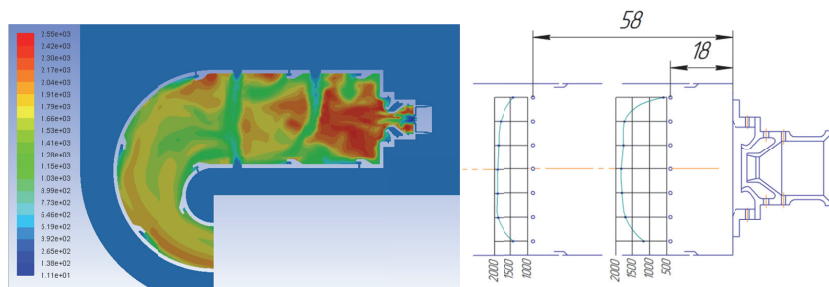


Рис. 1. Поля температур внутри камеры сгорания,  $\alpha_{\Sigma}=2,8$  и экспериментальные данные замера температуры в 2-х сечениях камеры сгорания

Для определения характеристик горения КС петлевого типа можно применять реакторную модель их расчета с использованием структуры течения полученной с применением AnsysFluent.

### Список литературы

1. Longwell J.P., Weiss A.A. High temperature reaction rates in hydrocarbon combustion // Ind. and Eng. Chem. 1955. Vol. 47. № 8. P. 1634 – 1643.
2. Дорошенко В.Е. О процессе горения в камерах ГТД //Тр. ЦИАМ. 1959. С. 25 – 28.
3. Янковский В.М. Моделирование зоны горения камер сгорания ГТД. //Изв. вузов. Авиационная техника. 1986. № 1. С. 73 – 76.
4. Кузнецов В. Р. Аналитические методы определения концентрации окиси азота в камерах сгорания авиационных ГТД: Обзор. // Новое в зарубежном авиадвигателестроении. 1973. № 8. P. 1634 – 1643.
5. Osgerby J.T. Literature review of turbine combustor modeling and emission // AIAA Journal. 1974. Vol. 12. № 6. P. 743 – 754.
6. Янковский В. М., Сыченков В. А., Фархутдинов Р. И. Влияние места подачи топлива в камеру сгорания на характеристики горения // Рабочие процессы в камерах сгорания ВРД: межвузовский сборник. Казань, 1987.
7. Харитонов В.Ф. Проектирование камер сгорания: учеб.пособие. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2008. 138 с.
8. Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан.гос. техн. ун-та, 2004. 220 с.