

УДК 621.45

## РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К РАСЧЁТУ ЛАМИНАРНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ТРЁХМЕРНОМ РАСЧЁТЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS FLUENT

Сигидаев А. В., Семенихин А. С.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

При математическом моделировании рабочего процесса в камере сгорания (КС) газотурбинного двигателя необходимо учитывать большое количество факторов, влияющих на процесс горения. Одна из величин, характеризующих процесс горения в КС, – это ламинарная скорость распространения пламени (ЛСРП,  $S_L$ ).

В работе был выполнен обзор научной литературы с целью нахождения экспериментальных данных по измерению ЛСРП метана и пропана. Выполнена валидация формулы для расчёта ЛСРП, представленной в работе [1], а также валидация различных механизмов химических реакций (Старика А.М. [3], GRI 3.0 [4]) по найденным доступным экспериментальным данным. Представлен способ практической реализации метода задания ЛСРП в ANSYS Fluent

$$S_L = F Y_{F,u}^m \cdot \exp(-G / T^0) \frac{T_u}{T^0} \left( \frac{T_b - T^0}{T_b - T_u} \right)^n. \quad (1)$$

Данная формула является стандартным инструментом в программных пакетах трёхмерного моделирования, например ANSYS Fluent [2].

На рисунках 1 и 2 представлены результаты сравнения расчёта по приведённой формуле с экспериментальными данными, взятыми из открытой литературы, также представлены результаты расчёта по различным механизмам химических реакций ( $\varphi$  – коэффициент избытка топлива). В качестве топлива использовались метан и пропан. Проводились сравнения для давлений от 1 до 20 атмосфер и температур от 300 до 700 К.

Валидация формулы (1) показала, что интервалы её применимости довольно малы: результаты расчёта совпадают с экспериментами только для  $T_k = 300$  и  $\varphi < 1$ ; в зависимости от давления и температуры ЛСРП, рассчитанная по формуле, может быть ниже или выше экспериментов.

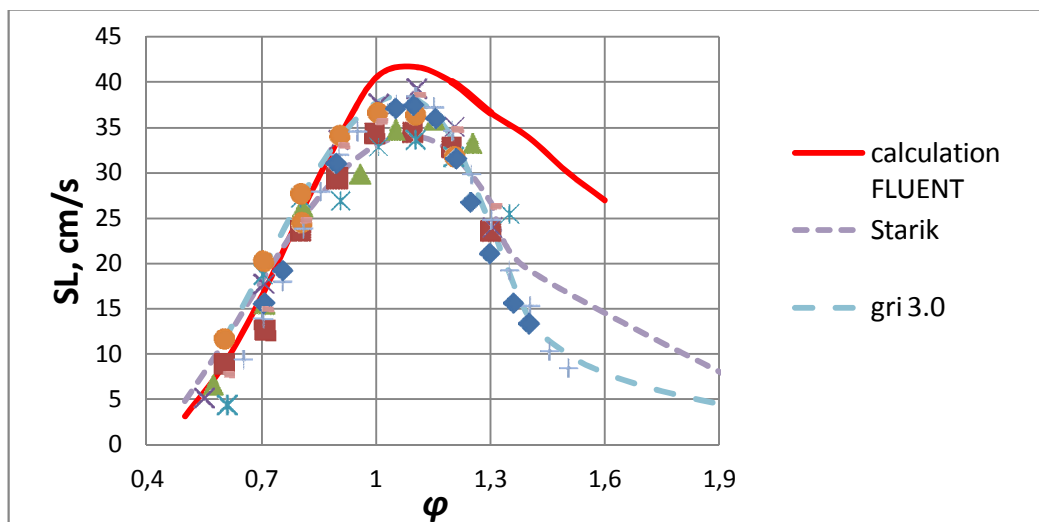


Рис. 1. Валидация для расчёта ЛСРП метана при  $T_u=300$  К,  $P_k=1$  атм

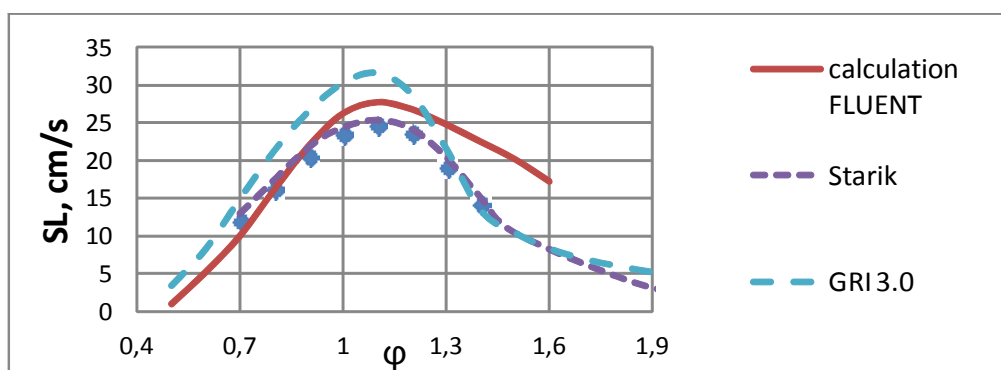


Рис. 2. Валидация для расчёта ЛСПП пропана  $T_u=300$  К,  $P_k=5$  атм

В качестве расчётных механизмов для последующей аппроксимации (рисунок 3) выбираем для метана механизм GRI 3.0, так как он удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными для всех исследуемых давлений в диапазоне температур 300...400 К и ниже эксперимента на 10-15% для остальных температур. Для моделирования горения пропана выбираем кинетический механизм химических реакций Старика А. М., так как на представленных графиках он наиболее близко описывает экспериментальные точки, разница составляет не более 5 %.

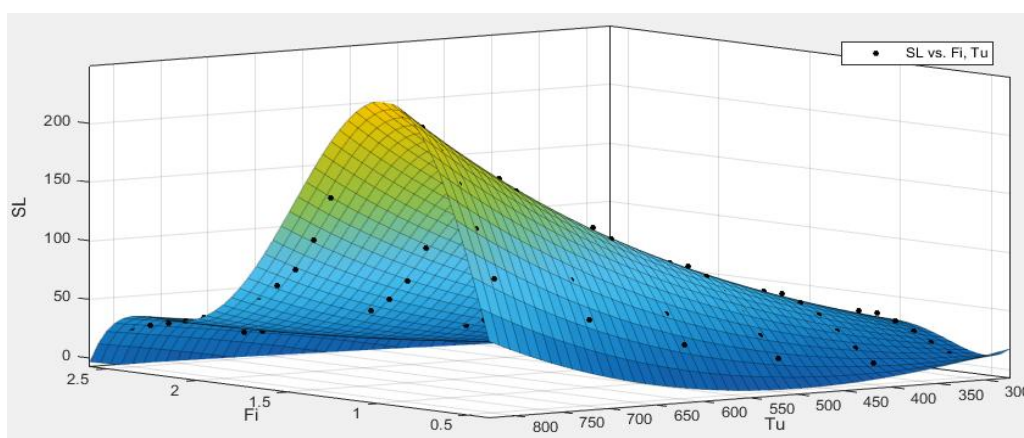


Рис. 3. Полиномиальная аппроксимация расчёта механизма химических реакций (механизм GRI 3.0)

Как оказалось, формула, используемая в ANSYS Fluent, некорректно работает на многих режимах, поэтому для решения этой проблемы можем воспользоваться двумя методами: 1) использование пользовательской функции (UDF) для непосредственного задания ЛСПП; 2) подбор коэффициентов для уравнения [1].

#### Библиографический список

1. Gottgens J., Mauss F., Peters N.: Analytic approximations of burning velocities and flame thicknesses of lean hydrogen, methane, ethylene, ethane, acetylene and propane flames. The combustion institute, 1992.
2. ANSYS Inc., Fluent Theory guide, Ansys 15.0, Release 2013.
3. Titova N.S., Kuleshov P.S., Starik, A.M.: Kinetic mechanism of propane ignition and combustion in air. Combustion, Explosion and Shock Waves, may 2011, pages 249-264.
4. [http://www.me.berkeley.edu/gri\\_mech/](http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/)