

## О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА PIV ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ И КОНСТАНТ МАРКШТЕЙНА

G.A. Chernov<sup>2</sup>, A.A. Chernov<sup>1,2</sup>, A.G. Shmakov<sup>1</sup>, O.P. Korobeinichev<sup>1</sup>, V.I. Tatarenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion, SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

### Введение

При горении турбулентного пламени, по крайней мере до  $Re=65000$ , важную роль играет теория распространения ламинарных микропламен в условиях комбинированной деформации фронта пламени: дивергенция скорости движения газовой смеси и дивергенция направления движения фронта. В зависимости от скорости деформации (так называемая скорость растяжения) наблюдаются 3 эффекта: ускорение скорости горения, замедление и погасание. Степень влияния определяется константами Маркштейна. Турбулентное горение с числом  $Re < 10^5$  характерно для **двигателей внутреннего сгорания, микрогазотурбинные установки для БПЛА с тягой до 500 Н (JetCat P200), для бытовых устройств и на начальных этапах пожара.**

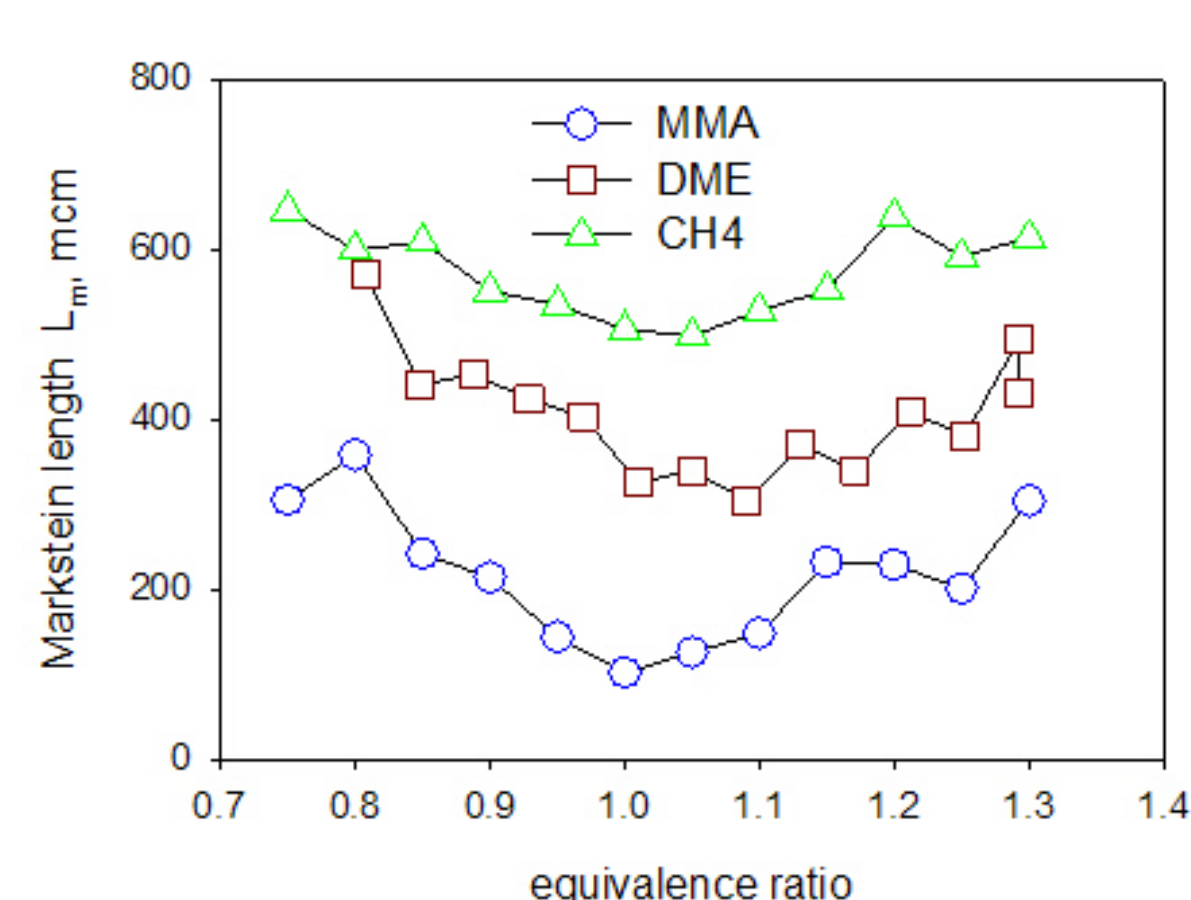
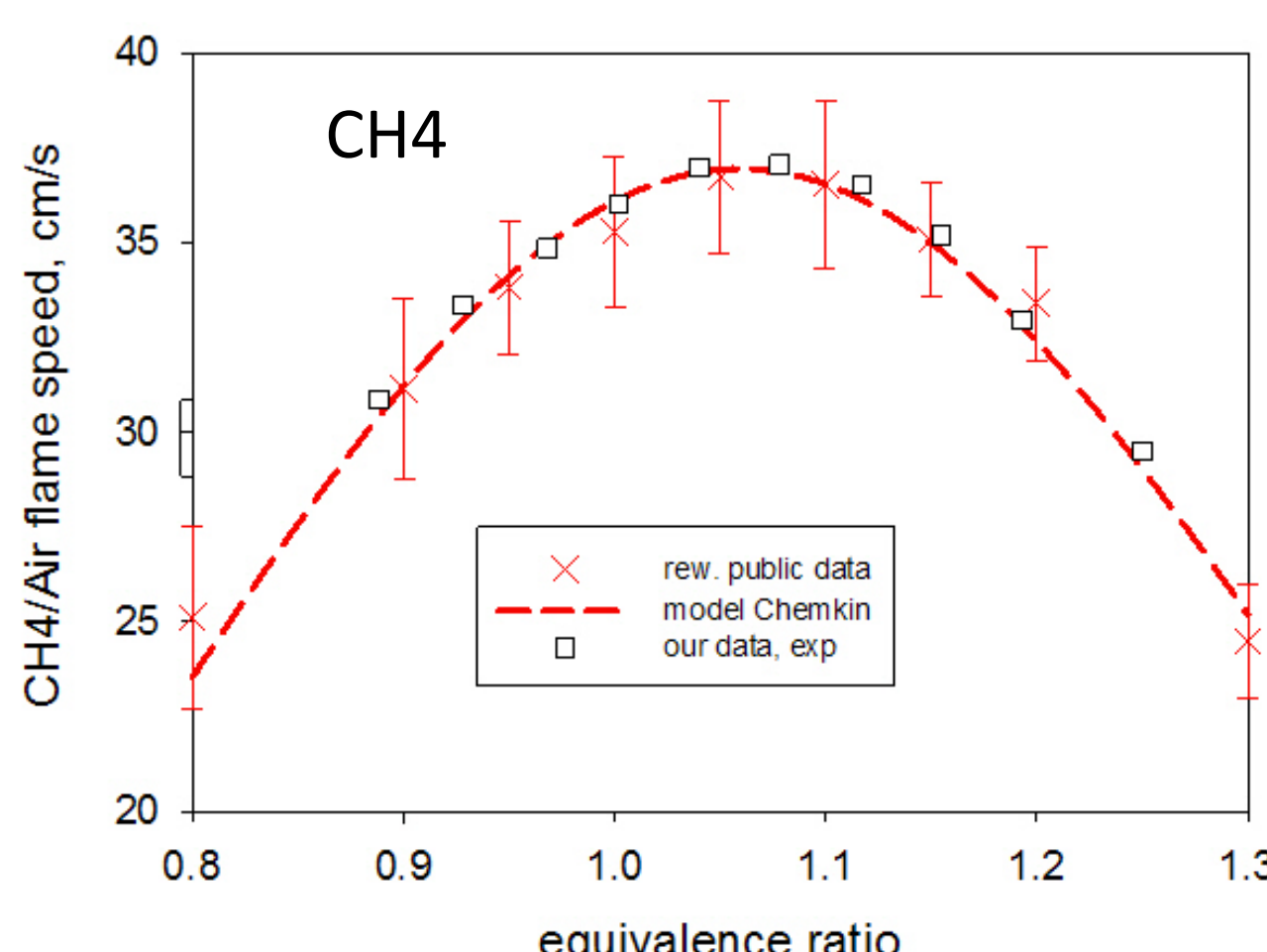
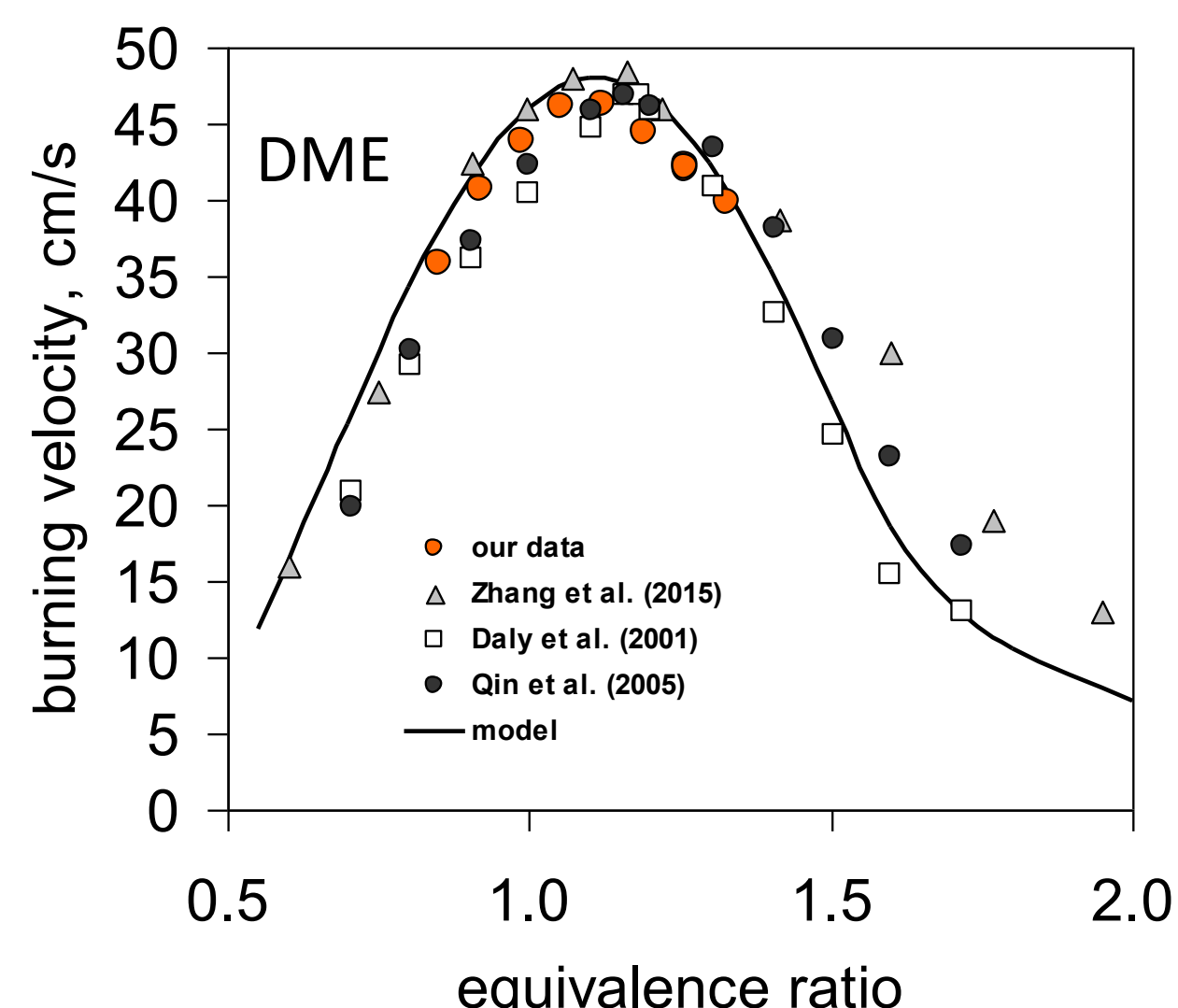
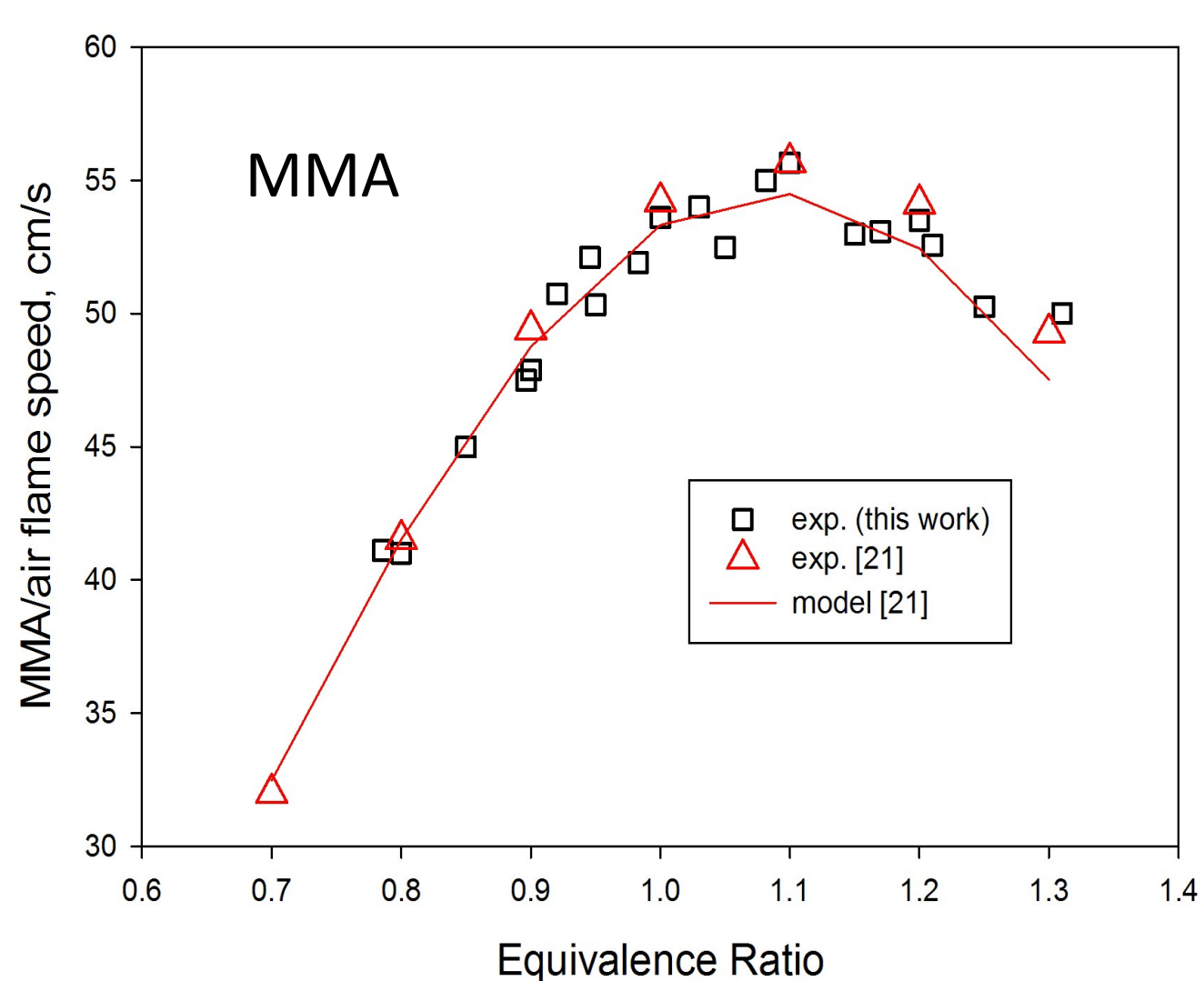
Чувствительность к растяжению пламени ( $K$ ), такие как длина Маркштейна ( $L_m$ ), число Льюиса ( $Le$ ), эквивалентное отношение ( $\phi$ ), являются важными параметрами, которые необходимо учитывать для прогнозирования турбулентного горения и глобальных характеристик топлива.

**Отношение турбулентной к нормальной скорости горения  $U_T/U_0$**  зависит не только от относительного увеличения площади поверхности пламени ( $A_T/A_0$ ) в результате турбулентности (теория Дамкеллера, 1940), но и от относительного падения локальной скорости горения в результате растяжения пламени (Маталон, 2015):

$$\frac{U_T}{U_0} = \left(1 - \frac{L_m \bar{K}}{U_0}\right) \frac{\bar{A}_T}{A_0} \quad K = \frac{1}{2} \nabla \cdot \vec{n}$$

### Верификация метода

Результаты измерения  $U_0$ , полученные методом PIV хорошо совпадают с известными результатами для пламени метилметакрилат-воздух ( $Le \sim 2,5$ ), диметилэфир-воздух ( $Le \sim 1,5$ ), метан-воздух ( $Le \sim 1$ ).

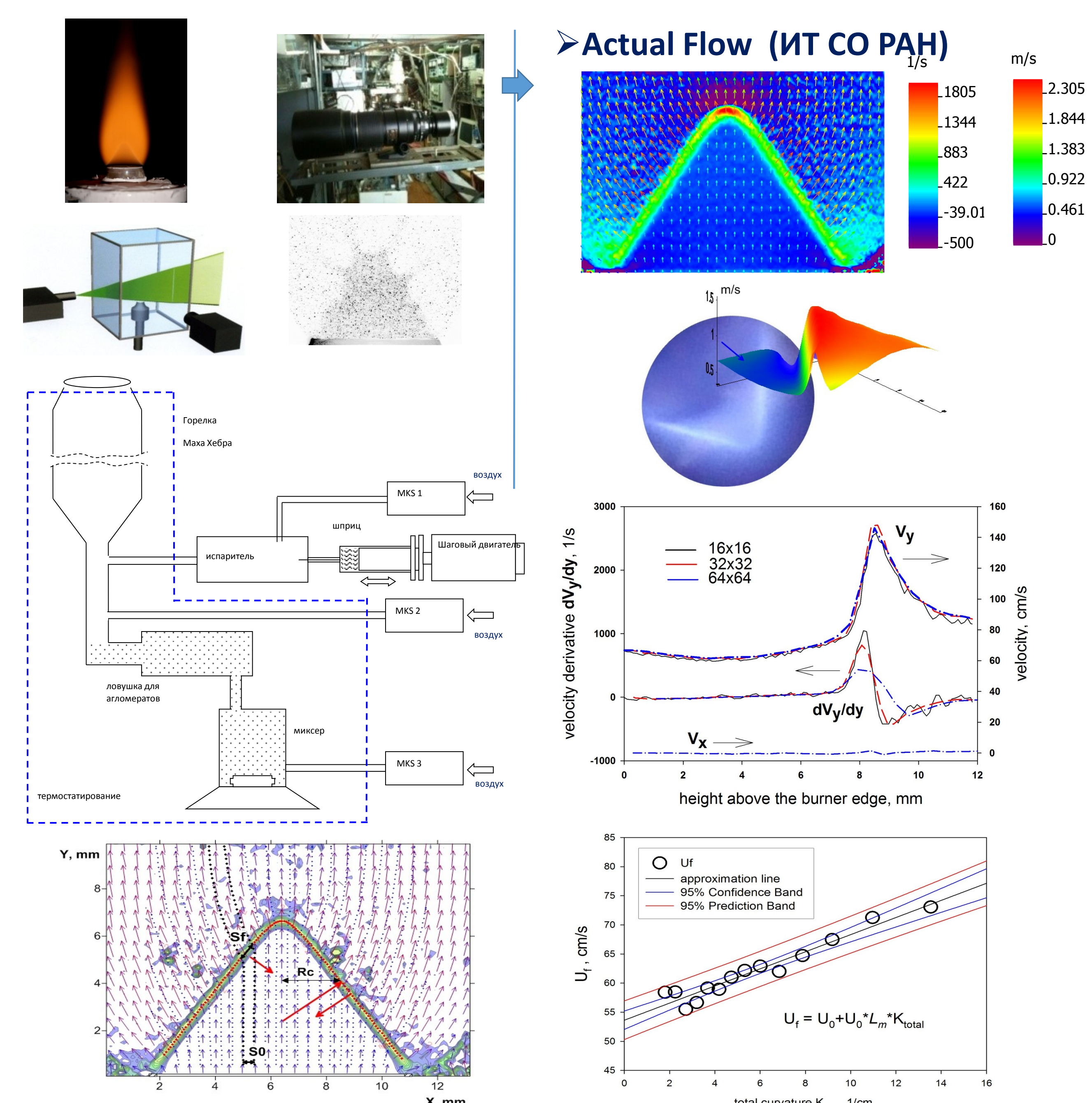


### Эксперимент

Визуализация волны горения методом PIV:

□ Стробоскопические фотографии засеянных в этот поток субмикронных твердых частиц (PIV).

□ Мгновенная картина (5 нс, 100 мкс, 500 мс), поля скоростей и градиент модуля скорости.



□ Газодинамическая структура и геометрические параметры осесимметричного пламени в виде наложенных друг на друга двумерного поля векторов скоростей газа, градиента скорости газа и линий тока.

□ Локальная скорость распространения пламени определяется из массовой:

$$\dot{M}_f = \dot{M}_{f,\infty} = \dot{M}_0 \Rightarrow \rho_0 \cdot S_f \cdot u_{f,\infty} = \rho_0 \cdot S_0 \cdot V_0 \Rightarrow u_{f,\infty} = \frac{S_0}{S_f} V_0$$

□ Погрешности измерения: пространственное разрешение ограничено величиной в  $\pm 100$  диаметров частиц, из-за инерционности размер трассерных частиц должен быть не более 1 мкм, размер счетной области не более 64x64 pix, мощность лазера не менее 25 мДж/импульс, каталитическое влияние частиц незначительно только при массовой концентрации  $TiO_2$  в смеси не более 0.02%.

### Заключение

- Константы Маркштейна определяют степень влияния на турбулентное пламя скорости деформации, в т.ч. при закрутке потоков и пламени.
- Разработан метод извлечения локальной и нормальной скорости распространения пламени, а также констант Маркштейна из газодинамической структуры.

[chernov@kinetics.nsc.ru](mailto:chernov@kinetics.nsc.ru)

Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск  
89139465378