

## О фундаментальных концентрационных пределах базовых режимов горения перемешанных водородо-воздушных газовых смесей

Кириллов И.А.

*Курчатовский комплекс физико-химических технологий  
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»*

### Аннотация

Несмотря на двухвековую историю исследований проблемы концентрационных пределов (КП) горения, до сих пор нет ясных ответов на ряд практически важных вопросов:

- 1) К каким "окончательным (или абсолютным) пределам" (ultimate limits) - нижнему и верхнему фундаментальному КП - могут "сходиться" значения, полученные в разных экспериментальных установках (трубы, взрывные камеры) или по разным нормативным критериям (визуальным, по инкременту давления)?
- 2) Существует ли регулярная связь между известными эмпирическими концентрационными пределами? Например, между пределом воспламенения и пределом распространения дефлаграционных пламен? Каким физико-химическим параметрами ВВГС определяется эта связь и можно ли описать эту связь аналитически?
- 3) Можно ли и как вычислить значения концентрационных пределов «из первых принципов», анализируя только данные по термодинамике и кинетике ВВГС и не используя при этом - ни данные измерений КП в «стандартных» трубах или во взрывных камерах, ни результаты трехмерных нестационарных газодинамических расчетов горения (reactive CFD) на суперкомпьютерах?

Цель доклада – углубить понимание понятия “концентрационные пределы” горения на основе теоретического анализа критических явлений в кинетике разветвленных химических реакций. В качестве примера рассмотрено горение водородо-воздушных газовых смесей (ВВГС) в открытом пространстве.

Выделено семь базовых режимов горения ВВГС в открытом пространстве и предложена их иерархическая классификация. В основу классификации положены два признака – 1) топология фронта горения, 2) ведущий физико-химический механизм самоподдерживающегося, устойчивого, стационарного горения и связанный с ним показатель (индикатор) опасного (разрушительного) воздействия. Показано соотношение предложенной иерархии фундаментальных концентрационных пределов с известными эмпирическими концентрационными пределами горения.

Предложен единый для всех базовых режимов кинетический критерий и упрощенная методика количественной оценки фундаментальных концентрационных пределов горения ВВГС "из первых принципов".

Работоспособность и предсказательные возможности предложенного кинетического критерия и упрощенной методики были проверены на трех задачах количественной оценки:

- 1) абсолютные концентрационные пределы для самораспространения плоской дефлаграционной волны;
- 2) абсолютные концентрационные пределы для неподвижных шаровых пламен в невесомости;
- 3) зависимость максимальной температуры шаровых пламен, индуцированных плавучестью в земных условиях, от концентрации водорода в ультра-бедных ВВГС.

Сформулированы дополнительные экспериментальные и теоретические задачи, решение которых необходимо для научного обоснования взаимосогласованной системы нормативов по водородной безопасности АЭС и объектов инфраструктуры водородной энергетики.