

ции и вышеописанный эффект меняет свой знак, приводя к росту поступательной температуры.

На основании вышеизложенной теории для кластеров алканов была построена модель неравновесных процессов кластеризации при течении в канале.

Были рассчитаны изменения поступательной температуры  $\Delta T$ , скорости  $\Delta U$  при течении в канале постоянного сечения смеси метана  $CH_4$  и этана  $C_2H_6$  в условиях образования димеров  $CH_4 \cdot C_2H_6$  при различных начальных значениях поступательной температуры  $T_0 = 35, 50, 100K$ . При значениях начальной температуры  $T_0 = 35, 50K$  в потоке происходит повышение температуры, а при  $T_0 = 100K$  – понижение температуры. Как указывалось выше, этот эффект связан с тем, что с повышением поступательной температуры газа, в 6 межмолекулярных колебательных степенях свободы запасается больше энергии, чем ее поступает в активные степени свободы при кластеризации. Для более крупных кластеров этот эффект также имеет место, но при быстром росте энергии диссоциации с увеличением размера кластера, граничная температура  $T_0$  сдвигается в область все больших значений. При течении газов с образованием кластеров в соплах и струях образование простейших слабосвязанных кластеров алканов может приводить к понижению поступательной температуры, которое затем сменяется повышением ее за счет кластеризации более крупных агрегатов, у которых энергия диссоциации значительно превосходит энергию, которая может быть поглощена межмолекулярными колебательными степенями свободы.

### Горение капли эмульгированного топлива

*С.М.Фролов, В.С.Посвянский, В.Я.Басевич, А.А.Беляев  
(ИХФ им. Н.Н.Семенова РАН)*

Применение эмульгированных топлив в транспортных двигателях и стационарных энергетических установках связано с проблемами повышения эффективности сжигания топлива и снижения выхода вредных веществ ( $CO$ ,  $NO$ , сажи и др.) при горении. Топливную эмульсию получают в результате механического смешения двух (или нескольких) слабо растворяющихся топлив с добавлением поверхностно-активных веществ, обеспечивающих стабильную структуру из микрокапель одного топлива (далее – диспергированного), взвешенных в другом топливе (далее – основном). Как правило, диспергированный топливный компо-

нент представляет собой высокоэнергетическое химическое соединение. При горении капель эмульгированных топлив наблюдается ряд явлений, не присущих горению капель однокомпонентных топлив. Если давление паров у диспергированного компонента существенно выше, чем у основного, горение капель эмульсии сопровождается микровзрывом – внезапным разрушением вследствие вскипания микрокапель и образования вокруг них паровых пузырьков. Причиной микровзрыва может оказаться и жидкофазное разложение высокоэнергетического компонента в эмульсии. Разрушение капель эмульсии приводит к значительному сокращению времени горения и, следовательно, повышению теплонапряженности процесса горения. При горении струй микровзрывы способствуют более полному перемещиванию топлива с окислителем и, следовательно, к снижению выхода вредных веществ. К эмульгированным топливам относят и водные эмульсии тяжелых жидких углеводородов. При небольшом добавлении воды в виде микрокапель капля водной эмульсии горит с микровзрывом, приводящим к интенсификации смешения и горения.

В работе предложена математическая модель испарения, зажигания и горения капли эмульсии. Рассматривается сферически симметричная задача о нестационарном тепломассообмене между каплей и воздухом. Постановка задачи включает уравнения теплопроводности в капле и газе с учетом наличия в капле трех фаз (основного жидкого компонента, диспергированного жидкого компонента и паровых пузырьков диспергированного жидкого компонента), переменных физических свойств, конвекции, излучения, фазовых переходов и химических превращений, а также уравнения диффузии для компонентов в газовой фазе и уравнение неразрывности. Для описания химического превращения используются детальные и глобальные кинетические механизмы окисления топлив, включающие образование окислов азота, CO, а также механизмы сажеобразования. Решение задачи находится численно неявным методом на подвижной расчетной сетке. В указанной постановке задача решается впервые.

Задачу решали для водных эмульсий тяжелого углеводородного топлива (n-тетрадекан) и для эмульсий керосина с перекисью водорода для условий, реализующихся в современных поршневых и газотурбинных двигателях (давление 50-100 атм, температура до 2500 К), а также для условий перспективных пульсирующих детонационных двигателей для летательных аппаратов.

При исследовании особенностей прогрева и испарения капель водной эмульсии найдено, что значительную часть времени жизни капли

занимает период теплового расширения, вызванного образованием и расширением паровых пузырьков внутри капли. Максимальный перегрев пара в пузырьках достигает 100 К. Другой, относительно короткий период, связанный с быстрым уменьшением размера капли, может трактоваться как период микровзрыва, поскольку характерная константа испарения существенно (на порядок) превышает соответствующее значение для капли однокомпонентного топлива. Проведены параметрические исследования влияния давления, температуры, размера капель и микрокапель, а также количества воды в эмульсии на характеристики процесса испарения капли. При горении капли водной эмульсии образуется значительно меньшее количество сажи, СО и NO, чем при горении капли неэмульгированного топлива. Проведено сравнение результатов расчетов с имеющимися экспериментальными данными.

Систему керосин – перекись водорода рассматривают как перспективную топливную пару для пульсирующих детонационных двигателей. Приведены сравнительные результаты расчетов горения капель перекиси водорода в атмосфере паров керосина, капель керосина в атмосфере паров перекиси водорода, а также капель смесового эмульгированного топлива.

Работа выполнена при поддержке ИНТАС (грант INTAS-OPEN-2027) и РФФИ (проект № 99-03-32261а).

### **Взаимодействие гидродинамических и химических явлений при горении в турбулентной среде**

*А.М.Климов (ИПХФ РАН)*

Рассматриваются процессы, определяющие структуру локальных реакционных зон и, соответственно, режимы турбулентного горения в однородной реагирующей среде; обсуждается роль тонкой структуры турбулентности, в частности, внутренней перемежаемости, в том, что реакционные зоны имеют тенденцию оказываться тонкими высокоградиентными слоями (по форме – от бегущей по среде волны до «вмороженного» в среду слоя смешения) в широком диапазоне внешних условий. Анализируются особенности процесса турбулентного распространения пламени при крупномасштабной турбулентности, характерной для большинства ситуаций, - от горения в силовых установках до астрофизических явлений.