

Моделирование неравновесных кинетических процессов в активной среде непрерывного химического DF-лазера

Рассматривалась задача о стационарном течении реагирующей смеси в сопловой решетке и лазерной камере непрерывного химического DF-лазера, работающего в режиме усилителя, с учетом многокомпонентной диффузии и неравновесных кинетических процессов.

Целью моделирования является определение усилительных свойств активной среды.



Рис.1. Фрагмент сопловой решетки в непрерывном химическом лазере

Формирование активной среды происходит в результате смешения и химического взаимодействия последовательно чередующихся сверхзвуковых струй окислительного газа, содержащего F, и вторичного горючего D₂, истекающих из мелкомасштабных щелевых сопел.

В данной задаче рассматривался случай, когда критическое сечение сопел окислителя представляет собой щель, а критическое сечение сопел вторичного горючего выполнено в виде набора отверстий.

В силу периодичности структуры сопловой решетки (рис. 1) для трехмерного описания течения реагентов в соплах и лазерной камере была выделена область, охватывающая один полупериод в аксиальном и один полупериод в поперечном направлении потока.

Структурированная сетка данной области при протяженности активной среды L=4 см насчитывала около 0,5 млн ячеек.

Шаг сетки в направлении потока варьировался в зависимости от интенсивности процессов перемешивания.

На входе в сопла задавались давление, температура и массовые доли исходных компонентов, а на выходе из лазерной камеры задавалось сверхзвуковое течение.

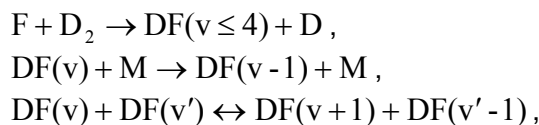
Принималось, что стенки сопел эффективно охлаждаются до температуры 400K.

При заданной геометрии сопел и рассматриваемом газодинамическом режиме истечения максимальное значение числа Рейнольдса не превышает 4000.

Исходя из этого, для описания подобного течения были использованы усредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса для многокомпонентной химически реагирующей смеси без задания модели турбулентности.

Диффузионные потоки описывались законом Фика.

В качестве основных неравновесных кинетических процессов рассматривались:



где M – произвольный участник реакции, v – номер колебательного уровня.

В результате было получено пространственное распределение колебательно возбужденных молекул DF (рис. 2).

На основании полученного решения было построено распределение вдоль по потоку усредненного по периоду сопловой решетки коэффициента усиления слабого сигнала на различных колебательно-вращательных переходах молекулы DF при условии равновесного распределения по вращательным уровням (рис. 3).

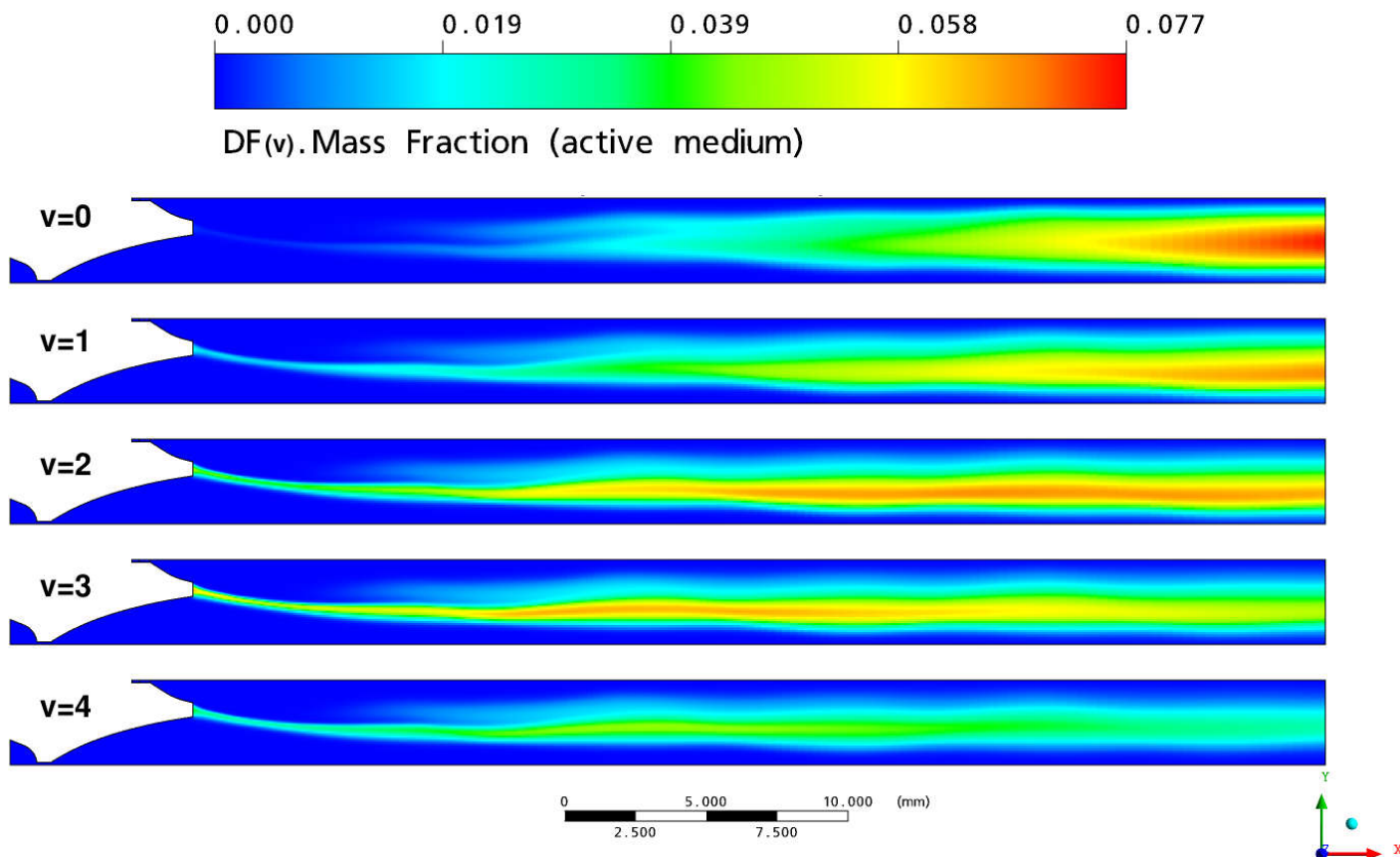


Рис.2. Массовые доли молекул DF на различных колебательных уровнях в плоскости симметрии

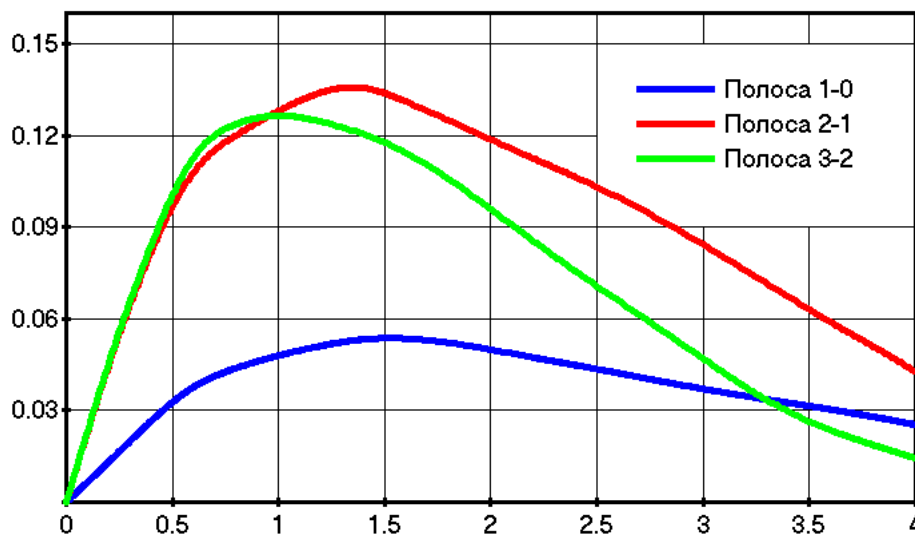


Рис.3. Распределение вдоль по потоку усредненного по периоду сопловой решетки коэффициента усиления слабого сигнала (см^{-1}) в различных колебательных полосах молекулы DF