

В.А. ГРИШАКИНА, С.М. ФРОЛОВ¹

*Московский инженерно-физический институт (государственный университет),
¹Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДПЛАМЕННОГО САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПЛАМЕНИ В СФЕРИЧЕСКОМ СОСУДЕ

Предложена математическая модель, описывающая распространение пламени в сферическом сосуде с учетом предпламенных реакций. По результатам расчетов построены границы параметрических областей самовоспламенения бедной н-гептано-кислородной смеси в координатах «начальная температура – скорость горения» для сферических сосудов разных размеров в адиабатических условиях.

Горение газа в замкнутом сосуде – проблема, имеющая важное прикладное значение в разных областях техники и химической технологии. Например, такие процессы протекают при аварийных взрывах в помещениях и емкостях, при горении в поршневых двигателях внутреннего сгорания и т.д. Известно, что при горении в замкнутом сосуде свежий газ сжимается и нагревается вследствие повышения общего давления. При определенных условиях режим сгорания газа в сосуде может измениться: вместо фронтального горения может произойти предпламенное самовоспламенение. Самовоспламенение газа перед фронтом пламени приводит к целому ряду явлений – возникновению волн давления конечной амплитуды, отбросу пламени и т.д. В поршневых двигателях внутреннего сгорания с предпламенным самовоспламенением связывают явление «стука» или «детонации». Знание условий, при которых происходит предпламенное самовоспламенение, важно для разработки мер по предотвращению этого явления. Цель работы – предложить математическую модель, описывающую распространение пламени в сферическом сосуде с учетом предпламенных реакций.

Решали задачу о распространении пламени в сферическом сосуде с центральным поджиганием с учетом тепловых потерь теплопроводностью и излучением в стенки сосуда. Постановка задачи включала ряд упрощающих допущений (постоянство скорости пламени, однородное распределение давления в сосуде, приближение двух идеальных газов с постоянной теплоемкостью, отсутствие конвективных течений и др.). Система определяющих уравнений включала обыкновенные дифференциальные уравнения баланса энергии в свежем газе и в продуктах горения, уравнение баланса массы и условие

постоянства объема. Задачу решали численно методом Рунге-Кутты 4-го порядка аппроксимации. Для определения условий предпламенного самовоспламенения проводили кинетический расчет для свежего газа при переменных температуре и давлении. В расчетах использовали кинетический механизм окисления н-гептана, содержащий 5 реакций и 6 компонентов (C_7H_{16} , O_2 , CO , CO_2 , H_2O , H_2). Использовали несколько критериев самовоспламенения газа, а именно, достижение определенного темпа роста температуры в свежем газе (10^6 , 5×10^6 и 10^7 K/c) или достижение определенного предвзрывного разогрева (10, 50 и 100 K). По результатам расчетов построили границы параметрических областей самовоспламенения бедной н-гептано-кислородной смеси в координатах «начальная температура – скорость горения» для сферических сосудов разных размеров в адиабатических условиях. Начальную температуру газа в сосуде изменяли в пределах от 300 до 650 K, а радиус сосуда от 0.1 до 1 м. Из сравнения результатов расчетов с разными критериями самовоспламенения показано, что границы указанных параметрических областей практически одинаковы, если в качестве критерия самовоспламенения применить условие достижения предвзрывного разогрева в 100 K и темп роста температуры более чем на 10^7 K/c. Показано, что в больших сосудах область предпламенного самовоспламенения расширяется: самовоспламенение достигается при меньших начальных температурах и больших скоростях горения.

В дальнейшем планируется распространить предложенную модель на случай двухстадийного самовоспламенения с холодным пламенем и горячим взрывом, а также на случай неадиабатического сосуда.