

УДК 621.43.056+519.6

Д.А. ДОЛМАТОВ¹

¹*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЛАМЕН

Статья содержит результаты математического моделирования воздушно - углеводородных пламен с температурой основной зоны горения свыше 1900 К при различном химическом составе топлива моделируемых зон пламени и условиях горения. Изучены особенности возникновения, развития и затухания нестационарных пламен с низкими частотами пульсации скорости горения и температуры, установлено расхождение между частотами пульсации скорости горения и температурой в контрольных сечениях при определенных соотношениях между начальным диаметром капли и концентрацией топлива для близких к стехиометрическому показателю значений коэффициента избытка воздуха.

Ключевые слова: *скорость горения, поле температуры, низкочастотные пульсации, нестационарное горение, молярная доля, химический состав.*

Введение

Проблемы высокотемпературного горения углеводородов по мере усовершенствования методов борьбы с термической эмиссией NO_x становятся все более актуальными как для современной теории горения и взрыва, так и для практических задач авиационного двигателестроения. Наряду с собственно механизмами снижения выброса вредных веществ существует ряд иных задач, связанных с особенностями изобарного горения при близком к стехиометрии химическом составе топливо-воздушной смеси в основной зоне горения. В частности, интерес представляют закономерности развития нестационарного горения, пульсации скорости горения и поля температур, возникновение виброгорения, а также положение границ богатого срыва пламени, влияние начального диаметра капли на параметры пламени при различном химическом составе топлива и другие теоретические и прикладные вопросы [1, 2].

Математическое моделирование бедных пламен жидких углеводородов при коэффициенте избытка воздуха, близком к стехиометрическому (0,9 - 0,98), представляет особый интерес как в силу недостаточной изученности физико-химических свойств пламен данного типа, так и по причине роста значимости численных экспериментов при проектировании камер сгорания ГТД. В ходе численных и натуральных экспериментов многими авторами [1, 3, 4] отмечалось существование взаимосвязи между диаметром капли, химическим составом топлива, коэффициентом избытка воздуха в зоне горения, с одной стороны, и вероятностью воз-

никновения нестационарного горения, частотами пульсации скорости горения, максимальной и минимальной температурами, механизмами реакций - с другой. Поскольку современные авиационные топлива представляют собой сложную смесь предельных и непредельных углеводородов, а количество элементарных химических реакций, протекающих в первичной зоне горения, экспоненциально возрастает по мере увеличения углеродного числа топлива, при изучении керосиновых пламен целесообразно использовать фильтрацию генерального баланса реакций для фиксированного начального химического состава, т.к. моделирование всего вариационного множества входящих в состав авиационных керосинов химических соединений затруднительно даже для наиболее мощных вычислительных станций из существующих. Существует достаточно широкий диапазон значений как коэффициента избытка воздуха, так и среднего начального диаметра каплей жидкого топлива d_0 , обеспечивающий максимальную температуру в зоне горения в интервале 1900 - 2100 К при давлении в камере сгорания от 10 до 15 атм, представляющий интерес для исследований - в первую очередь, с точки зрения установления эквивалентности либо, напротив, различности поведения характеристик пламени и полей параметров при варьировании двух данных величин.

Задачей исследования настоящей работы является установление особенностей структуры пламени, фронта пламени и параметров зоны горения при изменении двух независимых параметров - первичной зоны горения в диапазоне 1,04 - 1,14 и d_0 в диапазоне 15 - 25 мкм

при фиксированном начальном химическом составе капель топлива. Статическое давление среды на входе в камеру сгорания принято равным 10 атм.

Математическая модель горения

При численном моделировании используется модель сжимаемой вязкой турбулентной среды с большим количеством одновременно протекающих элементарных реакций. При этом учитывается возможность как равновесности, так и неравновесности реакций, а также наличие взаимосвязей между реагентами и продуктами (включая, разумеется, существование независимых одновременных реакций [2, 5]. Основой математической модели служит система уравнений Навье - Стокса для реагирующей среды:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_m C^i)}{\partial x^i} + \frac{\partial j_m^i}{\partial x^i} = v_{m\Sigma} \omega_m, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\tilde{\rho} \tilde{C}^i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x^i}(\tilde{\rho} \tilde{C}^i \tilde{C}^j) = \frac{\partial}{\partial x^i}(\tau^{ij} - p g^{ij} - \tilde{\rho} \overline{C^i C^j}), \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho I^*)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x^i}(\rho \tilde{C}^i I^* + j_q^i) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x^i}(\tau_j^i \tilde{C}^j), \quad (3)$$

где ρ_m - плотность m-го компонента смеси;

$v_{m\Sigma}$ - суммарная скорость производства/расхода m-го компонента смеси;

$\tilde{\rho}$ - средневзвешенная по Фавру средняя плотность смеси;

ω_m и v_m - массовая и молярная доля m-го компонента смеси соответственно;

\tilde{C}^i, \tilde{C}^j - средневзвешенные компоненты скорости;

$C^{i'}, C^{j'}$ - пульсационные компоненты скорости;

τ^{ij} - тензор напряжений;

p - статическое давление;

g^{ij} - метрический тензор;

I^* - полная энтальпия;

j_q^i - i-ая компонента суммарного массового потока тепла;

j_m^i - i-ая компонента диффузионного потока массы m-го компонента смеси, определяется по формуле

$$j_m^i = -D_m^M \tilde{\rho} \frac{\omega_m}{v_m} \frac{\partial v_m}{\partial x^i} - \frac{D_m^T}{T} \frac{\partial T}{\partial x^i}, \quad (4)$$

где D_m^M, D_m^T - коэффициенты массовой и термической диффузии m-го компонента смеси соответственно.

Суммарная скорость $v_{m\Sigma}$ определяется как

$$v_{m\Sigma} = \sum \frac{dc_m^{(p)}}{dt}, \quad (5)$$

где $\frac{dc_m^{(p)}}{dt}$ - изменение концентрации m-го компонента в единицу времени в результате реакции.

Скорость элементарных реакций определяется по мгновенным значениям концентраций реагентов:

$$v^{(p)} = k_p \prod c_n^{(p)}, \quad (6)$$

где k_p - константа скорости p-ой реакции;

$c_n^{(p)}$ - реагенты p-ой реакции.

Константа скорости реакции определяется по формуле Аррениуса:

$$k_p = A_p T^{b_p} e^{-E_p/R_y T}, \quad (7)$$

где A_p, b_p - константы реакции;

E_p - энергия активации p-ой реакции;

R_y - универсальная газовая постоянная.

Для замыкания системы уравнений используется уравнение Редлиха - Квонга для реальных газов и система уравнений SST-модели турбулентности [6]. Данная модель, хотя и не адаптирована к использованию реагирующих потоков с большим числом реакций, является более удобной для решаемой задачи по сравнению с k-ε, k-ω и однопараметрическими моделями, поскольку адекватно представляет турбулентность как в слабоградиентных, так и в сильноградиентных зонах турбулентности. Как известно [2, 7], гетерогенное горение содержит как зоны с постоянным давлением, так и (вблизи поверхностей испаряющихся капель и, в некоторых случаях, в окрестности фронта пламени) участки с достаточно сильным градиентом скорости и давления среды. В связи с этим весьма важна универсальность применяемой модели турбулентности, что и обеспечивается используемой SST-моделью.

Система уравнений SST-модели турбулентности выглядит как

$$\frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho C^i K)}{\partial x^i} = P - \beta^* \rho \omega K + \frac{\partial}{\partial x^i} \left[(\mu + \sigma_K \mu_T) \frac{\partial K}{\partial x^i} \right], \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho C^i \omega)}{\partial x^i} = 2(1 - F_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial K}{\partial x^i} \frac{\partial \omega}{\partial x^i} + \frac{\partial}{\partial x^i} \left[(\mu + \sigma_{\omega} \mu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x^i} \right] + \frac{k}{\nu_T} P - \beta^* \rho \omega^2, \quad (9)$$

где K - кинетическая энергия турбулентности;

ω - круговая частота турбулентной диссипации;

σ_{ω} , $\sigma_{\omega 2}$, P , β^* , σ_K , F_1 - размерные и безразмерные коэффициенты SST-модели;

μ_T , ν_T - динамическая и кинематическая турбулентная вязкость соответственно.

Перенос энергии в ходе лучистого энергообмена и связанные с этим эффектом изменения полей параметров в настоящей работе не рассматривается. Фильтрация генерального баланса реакций осуществляется по скоростным коэффициентам чувствительности [5]:

$$E_{i,j}^{abs} = \frac{\partial c_i}{\partial k_j}, \quad (10)$$

$$E_{i,j}^{rel} = \frac{\partial \ln c_i}{\partial \ln k_j}, \quad (11)$$

где $E_{i,j}^{abs}$, $E_{i,j}^{rel}$ - соответственно абсолютные и относительные коэффициенты чувствительности i -ого компонента смеси по j -ой реакции.

Собственно фильтрация выполняется путем формального дифференцирования системы уравнений элементарных реакций:

$$v_{i\alpha} = \frac{dc_i}{dt} = f_i(k_j, c_m), \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial k_j} \left(\frac{dc_i}{dt} \right) = \frac{\partial}{\partial k_j} f_i(k_j, c_m), \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial c_i}{\partial k_j} \right) = \left(\frac{\partial f_i}{\partial k_j} \right)_{c_i, k_i \neq j} + \sum \left[\left(\frac{\partial f_i}{\partial c_m} \right)_{c_i \neq m, k_j} \left(\frac{\partial c_m}{\partial k_j} \right) \right], \quad (14)$$

$$\frac{\partial E_{i,j}^{abs}}{\partial t} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial k_j} \right)_{c_i, k_i \neq j} + \sum \left[\left(\frac{\partial f_i}{\partial c_m} \right)_{c_i \neq m, k_j} E_{i,j}^{abs} \right], \quad (15)$$

что позволяет при фильтрации по относительным коэффициентам чувствительности сократить механизм реакций горения керосина до 267, что является приемлемым с точки зрения практических вычислений.

В работе проводится: а) моделирование основной зоны горения, фронта пламени и некоторого присоединенного участка распыления и конвекционного теплообмена при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,08$ и различном начальном диаметре капли в диапазоне от 15 до 25 мкм; б) моделирование аналогичного участка горения при фиксированном значении $d_0 = 20$ мкм и α в диапазоне от 1,04 до 1,14.

Физико-химические параметры пламени при различном начальном диаметре капель топлива

В ходе расчетов были получены поля параметров и характеристики горения в различные моменты времени при формально нестационарной постановке расчетной задачи. Значительный интерес представляет собой влияние размера начальной капли на тип горения в целом. На рис. 1, 2 представлены поля температуры вблизи зоны максимальных температур (вниз по потоку от фронта пламени) при $d_0 = 15$ мкм в различные контрольные моменты времени. В качестве рассматриваемого временного интервала был выбран промежуток в 1 с, поскольку колебания с частотой ниже 1 Гц в рассматриваемых пламенах, очевидно, маловероятны.

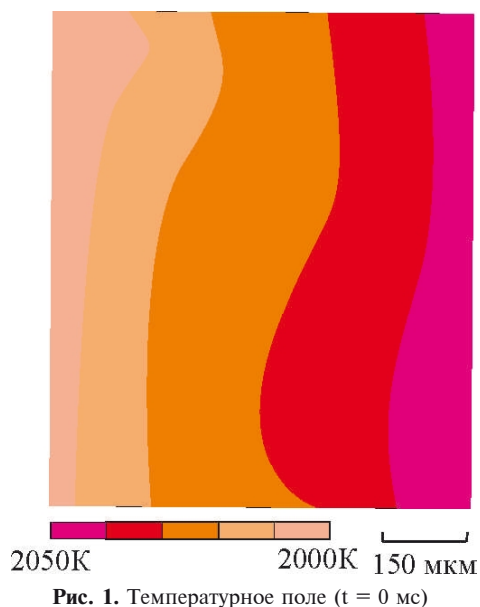


Рис. 1. Температурное поле ($t = 0$ мс)

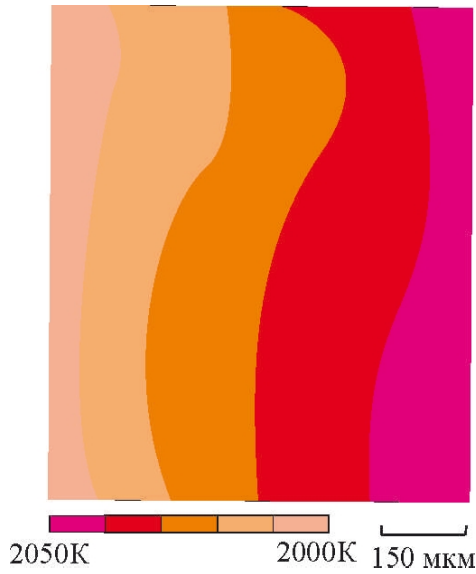


Рис. 2. Температурное поле ($t = 80$ мс)

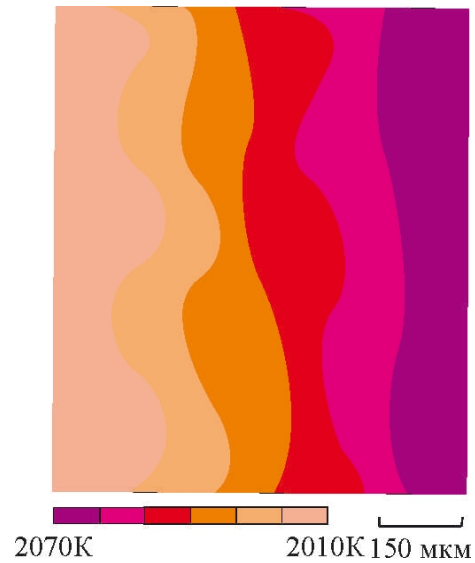


Рис. 4. Температурное поле ($t = 0$ мс)

Сравнительный анализ температурных полей демонстрирует в целом стационарный характер горения и постоянное распределение температуры в пространстве. Незначительное смещение изотерм, наблюдаемое для зон с $T = 2020 - 2040$ К, очевидно, связано с прохождением топливо-воздушных кластеров). Распределение характерных реагентов вдоль оси камеры сгорания в зоне первичного горения носит монотонный характер (см. рис. 3).

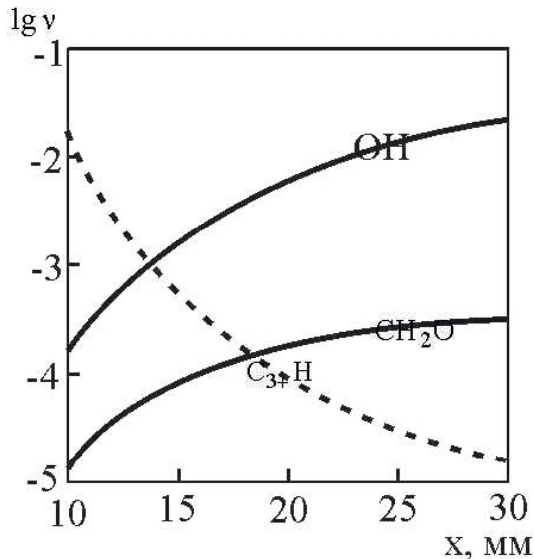


Рис. 3. Концентрация реагентов в зоне первичного горения

При начальном диаметре $d_0 = 20$ мкм были получены данные, свидетельствующие об изменившемся характере горения. Температурные поля параметров представлены на рис. 4, 5.



Рис. 5. Температурное поле ($t = 80$ мс)

Характер распределения температуры в целом аналогичен течению с $d_0 = 15$ мкм. Однако, как видно из рис. 4, температурное поле параметров носит более ярко выраженный градиентный характер и содержит поперечные волны малой амплитуды, еще более ярко выраженные при $t = 80$ мс на рис. 5. При этом помимо поперечных волн в пламени явно присутствуют продольные, связанные с пульсациями скорости горения и низкочастотными колебаниями фронта пламени. Смещение изотерм сопровождается ростом максимальной температуры (на рисунках не показано) и некоторым приростом итоговой для моделируемой зоны концентрации NO. Результаты

математического моделирования указывают на колебания скорости горения с переменной частотой (см. рис. 6).

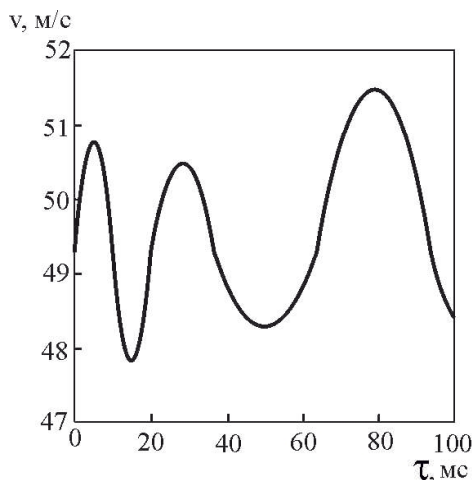


Рис. 6. Скорость горения

Весьма интересен тот факт, что несмотря на малую амплитуду колебаний скорости горения (менее 3 м/с), достаточно ярко выражен переменный характер этих колебаний. На протяжении временного интервала в 1 с наблюдается изменение мгновенной частоты колебаний скорости горения в диапазоне от 18 до 57 Гц, причем характер этих изменений аperiодичен. На данном этапе исследований не удалось установить однозначную взаимосвязь между данным эффектом и поперечными возмущениями температурных и концентрационных полей, однако можно с уверенностью утверждать, что наблюдаемый эффект обусловлен комплексом физико-химических факторов. Распределение концентраций реагентов подобны случаю с $d_0=15$ мкм, однако в контрольном сечении $x = 25$ мм наблюдаются колебания концентрации гидроксильных радикалов (рис. 7).

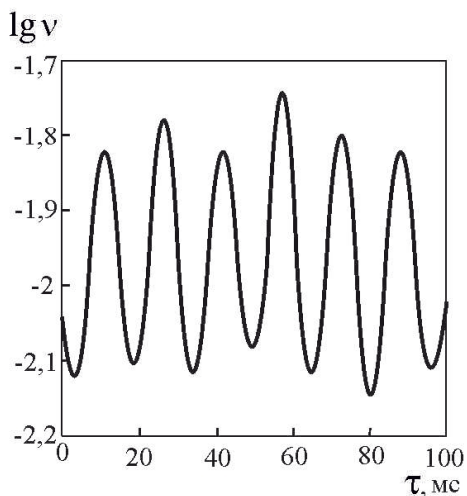


Рис. 7. Колебания концентрации ОН в контрольном сечении

Как видно из рис. 7, в отличие от скорости горения (и колебаний температуры) пульсации концентрации ОН носят периодический характер с практически постоянной амплитудой. При этом частота колебаний (72,3 Гц) также изменяется не более, чем на 1,1 Гц во всем наблюдаемом временном интервале, и почти всегда значительно превышает частоту колебаний скорости горения. Физико-химическая природа этого эффекта подлежит дальнейшему изучению, однако очевидно, что для наблюдаемых сравнительно слабых колебаний температуры в контрольном сечении производство гидроксильных радикалов при достаточно высоком содержании алкильных и прочих остаточных углеводородных соединений слабо зависит от температуры среды, а, следовательно, и непосредственно от скорости горения. Возникающие колебания молярной доли радикала ОН обусловлены, по-видимому, неким более сложным химическим механизмом, природа которого связана с процессами в непосредственной окрестности фронта пламени и/или сечения воспламенения топлива, где наблюдаются быстрые реакции с участием слабо расщепленных углеводородов. Известно [8], что вышеназванные зоны пламени содержат ряд короткоживущих соединений, практически отсутствующих на прочих участках горения. Вполне вероятно, что именно скоростью расщепления этих веществ и определяется природа колебаний концентраций гидроксила.

С ростом d_0 нестационарные эффекты горения проявляются более выражено, согласно полученным при моделировании горения с начальным диаметром капли 25 мкм. На рис. 8 и 9 представлены температурные поля для данных условий.

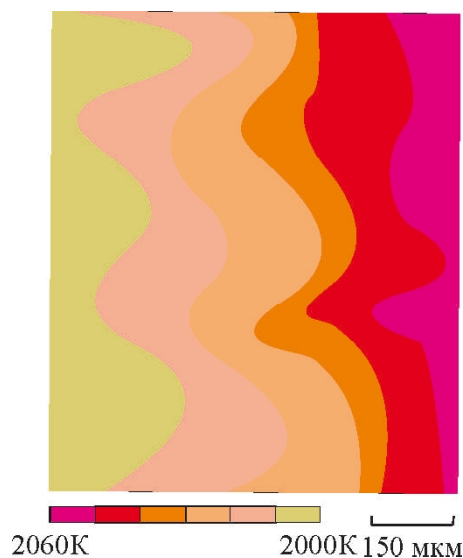


Рис. 8. Температурное поле ($t = 0$ мс)



Рис. 9. Температурное поле ($t = 80$ мс)

В данном случае, как видно из рис. 8 и 9, колебания полей температуры происходят с большей амплитудой, чем в двух предыдущих случаях. Поскольку масштаб колебаний сопоставим с диаметром каплей, хотя и превосходит его почти на порядок, можно с высокой достоверностью утверждать, что одной из основных причин наблюдаемой нестационарности является пространственная структура течения, для каплей большого начального диаметра характеризуемая значительными градиентами концентраций топлива и других реагентов. Очевидно, существенную роль в возникновении нестационарных процессов играет также тот факт, что в рассматриваемые пламена весьма близки к стехиометрическому и, следовательно, обладают большей по сравнению с бедными пламенами неоднородностью вблизи поверхностей испаряющихся каплей топлива.

Скорость горения пульсирует с большей, чем в предыдущем случае, амплитудой (см. рис. 10), но при этом характер колебаний значительно более гармоничный, а частота колебаний в целом уменьшается, что подтверждает гипотезу о влиянии смешанных топливовоздушных кластеров на возникновение и формирование колебаний.

В ходе численного моделирования была, как и в предыдущем случае, выявлена закономерность изменения молярной доли гидроксильного радикала OH от времени, в логарифмической форме представленная на рис. 11.

Как видно из рис. 11, рост d_0 приводит к некоторому увеличению амплитуды колебаний концентрации OH , но очень слабо влияет на частоту этих колебаний. Согласно данным различных исследователей [2, 5, 8], для темпе-

ратур свыше 1900 К выход гидроксила в целом практически не зависит напрямую от температуры среды и обуславливается исключительно химическим составом зоны горения. Очевидно, аналогично и колебания концентрации OH слабо связаны с колебаниями температуры в контрольной зоне.

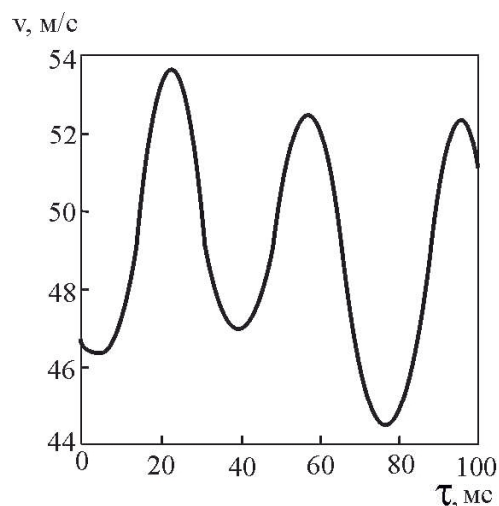


Рис. 10. Скорость горения

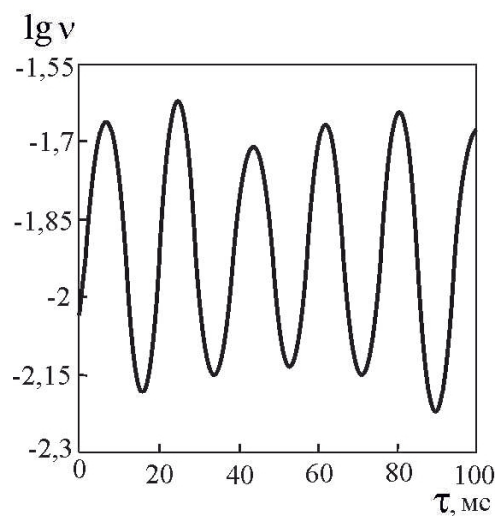


Рис. 11. Колебания концентрации OH в контрольном сечении

Весьма интересным с точки зрения изучения структуры пламени является тот факт, что во всех трех рассмотренных случаях концентрация атомарного кислорода O колеблется с очень слабой амплитудой (амплитуда по молярной доле менее 10^{-6}) и с частотой, равной частоте пульсаций поля температур, что указывает на превалирование термического высокотемпературного механизма генерации O в зоне горения при рассматриваемых условиях. В то же время на начальном участке горения наблюдается постоянство содержания H_2O и CH_2O во всем

диапазоне рассматриваемых условий. Данный факт свидетельствует об устойчивости механизмов образования данных веществ к низкочастотным колебаниям температуры и концентрации гидроксила.

Мольная доля NO в моделируемой зоне демонстрирует пульсацию с довольно большой относительно мольной доли данного реагента амплитудой, однако частота этих колебаний меньше даже минимальных частот колебаний скорости горения (16,4 Гц, согласно данным численных экспериментов). В целом наблюдается традиционная для керосиновых пламен тенденция увеличения концентрации NO по мере роста диаметра капель. В силу незначительных отличий между эмиссионными показателями моделируемых режимов на данном этапе представляется затруднительным дифференцировать провоцирующее воздействие колебаний скорости горения и поля температур и влияние размера капли на генерацию NO.

В целом, анализируя результаты математического моделирования, можно отметить неоднородный характер нестационарного горения при различных начальных диаметрах капель топлива и нелинейную взаимосвязь между скоростью горения и концентрациями реагентов. Полученные данные позволяют утверждать о существовании локальных нестационарных эффектов в первичной зоне горения с масштабом 50 - 300 мкм и малоамплитудных колебаниях скорости горения, оказывающих влияние на распределение температуры и других величин при горении керосина.

Зависимость параметров пламени от коэффициента избытка воздуха в первичной зоне горения

Помимо размеров капель топлива, существенное влияние на процесс горения и развитие нестационарных явлений в пламени оказывает коэффициент избытка воздуха в первичной зоне горения. Стехиометрическое горение не рассматривается в данной работе из-за дополнительных трудностей моделирования, связанных с описанием течения вблизи сопряженных интенсивно испаряющихся капель и возникновения локально богатых участков горения [9]. В ходе численных экспериментов были подвергнуты математическому моделированию участки зоны первичного горения при $d_0=20$ мкм и получены результаты в виде полей параметров и зависимостей характерных показателей пламени от коэффициента избытка воздуха.

Большой интерес представляет влияние варьируемого параметра на колебания скорости горения, концентраций типичных реагентов и итоговое содержание NO. Как было установ-

лено, коэффициент избытка воздуха оказывает существенное влияние на наличие и природу колебаний большинства параметров пламени, в первую очередь - скорости горения и генерацию оксида азота (II). На рис. 12, 13 представлена зависимость средней и максимальной частоты и амплитуды колебаний скорости горения от параметра соответственно.

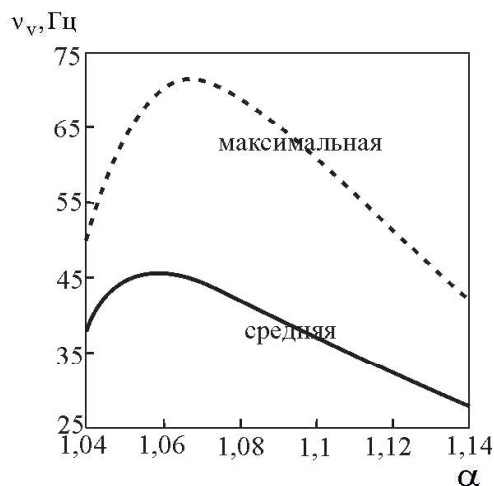


Рис. 12. Зависимость частоты колебания скорости горения от первичной зоны

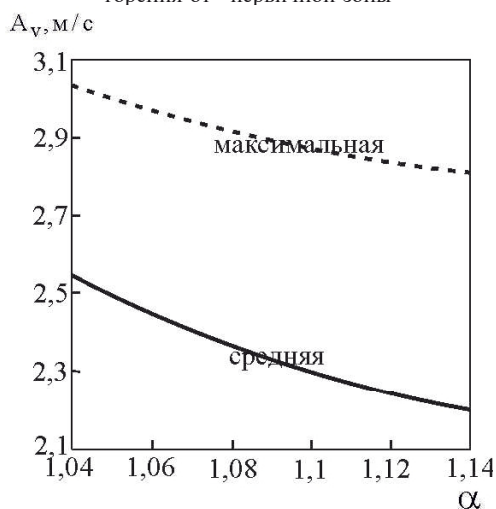


Рис. 13. Зависимость амплитуды колебания скорости горения от первичной зоны

Как видно из приведенных на рис. 12 графиков, средняя и максимальная частоты пульсаций v , имея максимумы при $\alpha = 1,06...1,07$, затем монотонно снижаются, что вполне согласуется с уменьшением концентрации капель топлива в смеси, а следовательно - и связанных с ними нестационарных явлений. Наличие максимума, очевидно, обусловлено особенностями испарения капель при рассматриваемых условиях.

Итоговое и максимальное содержание NO в зоне горения также является функцией α . На

рис. 14 представлена зависимость этих величин от коэффициента избытка воздуха в первичной зоне горения.

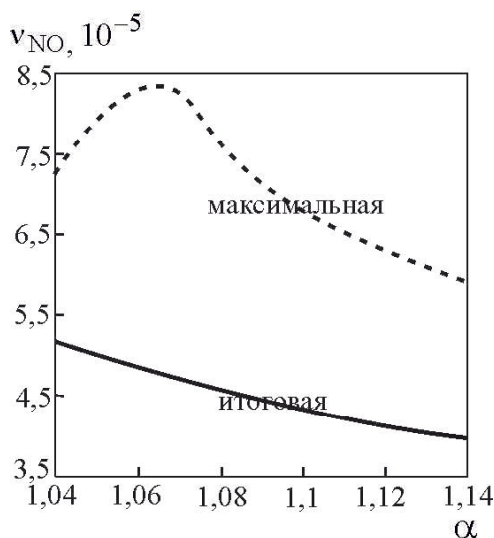


Рис. 14. Мольная доля оксида азота (II)

Как видно из рис. 14, итоговая концентрация NO на выходе из первичной зоны горения монотонно снижается по мере обеднения смеси, а максимальная - имеет экстремум при значениях α , соответствующих экстремуму частоты колебания скорости горения.

В целом по результатам математического моделирования удалось установить, что при высокотемпературном горении со значениями коэффициента избытка воздуха, близкими к единице, и начальном диаметре капель свыше 20 мкм в первичной зоне возникают нестационарные процессы, оказывающие влияние на скорость горения и производство промежуточных и конечных продуктов сгорания. При этом частоты колебаний скорости горения и температурных полей не совпадают с частотами колебаний концентраций гидроксильных радикалов и других важных веществ, формирующих структуру пламени. Влияние коэффициента

избытка воздуха первичной зоны на эмиссионные, физико-химические и термодинамические показатели пламени нелинейно и, видимо, связано с процессами испарения и выгорания капель топлива. Установленные факты имеют существенную теоретическую и прикладную ценность и являются базисом для дальнейших исследований микроструктуры пламен.

Литература

1. Вильямс Ф.А. Теория горения: пер. с англ. [Текст] / Ф.А. Вильямс. – М.: Наука, 1971. – 616 с.
2. Законы горения [Текст] / под общ. ред. Ю.В. Полежаева. – М.: Энергомаш, 2006. – 352 с.
3. Godsave G.A.E. Studies of the combustion of drops in a fuel spray – the burning of single drop in fuel [Text] / G.A.E Godsave // Proc. 4th Symposium on Combustion. – Williams and Wikings Co., Baltimore, 1953. – PP 818 – 830.
4. Correa S.M. A review of NO_x formation under gas-turbine combustion conditions / S.M. Correa [Text] // Comb. Sci. Techn., 1992. – № 87:329.
5. Варнатц Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ [Текст] / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
6. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications [Text] / AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, 1994. – PP. 1598-1605.
7. Оран Э. Численное моделирование реагирующих потоков [Текст] / Э. Оран, Дж. Борис. – М.: Мир, 1990. – 660с.
8. Bamford C.H. Comprehensive chemical kinetic: in 22 vol. [Text] / C.H. Bamford, G.F.S. Tipper (ed.). – Elsevier, Amsterdam/ Oxford / NY. – 1968 – 1985. – 22 vol.
9. Fristrom R.M. Flame structure and processes [Text] / R.M. Fristrom. – Oxford/NY, 1995. – 675 p.

Поступила в редакцию 10.06.2015

Д.А. Долматов. Порівняльний аналіз фізико-хімічних параметрів високотемпературних полум'їв

Стаття містить результати математичного моделювання повітряно-вуглеводневих полум'їв з температурою зони первинного горіння вище 1900 К при різноманітному хімічному складі зони полум'я, що моделюється, та різних умовах горіння. Вивчені особливості виникнення, розвитку та вгасання нестационарного горіння з низькими частотами коливання швидкості горіння і температури у контрольних перерізах при специфічних співвідношеннях між початковим діаметром краплини палива та коефіцієнтом надлишку повітря для полум'їв, що за складом близькі до стехіометричного.

Ключові слова: швидкість горіння, поле температури, низькочастотні коливання, нестационарне горіння, молярна доля, хімічний склад.

D.A. Dolmatov. Comparative analysis of high temperature flames physical and chemical parameters

The article contents the results of the mathematical modeling of the air-hydrocarbon flames with primal combustion zone temperature higher than 1900K, with various combustion terms and primal combustion zone chemical composition. The features of initiation, progress and degeneration of transient combustion with burn rate and temperature low oscillation frequency have been studied. There were investigated influences of drop initial diameter and excess-air coefficient on the combustion properties for mixtures which are close to stoichiometric.

Key words: *burn rate, temperature field, low frequency oscillation, transient combustion, molar part, chemical composition.*