

УДК 621.43.056+519.6

Д.А. ДОЛМАТОВ¹¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕФОРМИРУЕМОЙ КАПЛИ КЕРОСИНА

Изучены процессы в непосредственной окрестности деформируемой поверхности капли керосина при варьируемой температуре среды, начальном размере капли и механизмах окисления углеводов. Установлено существование зависимости между особенностями траектории движения капли, механизмом деформации и разрушения, параметрами среды и термодинамическими и эмиссионными показателями процесса горения. Сформированы принципы улучшения микроуровневых показателей горения капли и их взаимосвязь с эмиссионными и термодинамическими параметрами реагирующей среды для характерных значений температуры газа.

Ключевые слова: деформируемая поверхность, газообразная фаза, температурные колебания, скорость реакции, приповерхностные процессы

Проблема исследования приповерхностных микропроцессов при гетерогенном горении

Развитие методов управления структурой пламени, скорости горения и эмиссии вредных веществ требует усовершенствования методов прогнозирования, исследования и микроменеджмента физико-химических процессов как в зоне максимальной интенсивности реакций и максимума температуры, так и в менее термонагруженных участках пламени. Управление параметрами в окрестности поверхности выгорающей деформируемой капли топлива, вследствие множественности принципиально различных траекторий капель в камерах сгорания ГТД, представляет собой сложный комплексный процесс и, очевидно, не может быть сведено к набору универсальных действий вследствие неинвариантности воздействия (как химического, так и термодинамического) на реагирующую многокомпонентную смесь [1, 2].

Влияние на микропроцессы выгорания капли при помощи электрических газовых разрядов, являясь одним из наиболее перспективных методов, требует тщательного исследования особенностей процессов методами математического моделирования вследствие затруднительности непосредственного изучения быстропротекающих процессов у поверхности деформируемой капли традиционными способами мониторинга параметров в ходе физических экспериментов. В частности, определение влияния параметров разряда на процесс выгорания и деформации капли как результат совокупности воздействий параллельно протекающих реакций, не свойственных традиционной высокотемпературной зоне и обусловленных существованием

в окрестности разряда высокоэнергетических реагентов, требует численного моделирования с использованием наиболее детализированных математических моделей.

Математическая модель стимулированного гетерогенного горения

Основой математической модели гетерогенного горения при наличии электромагнитной стимуляции являются уравнения движения вязкой сжимаемой реагирующей среды, включающие уравнения неразрывности, состояния реальных газов, Навье-Стокса и энергии, дополненные моделями деформации и фазовых переходов [3, 4, 5]. Наиболее удобен для численного моделирования способ сведения процессов испарения/конденсации и дробления капель к производству – расходу жидкой фазы в целом. При этом уравнение закона сохранения массы удобно записать отдельно для каждой фазы:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} C^i \varpi_j)}{\partial x^i} = \mp \lambda, \quad (1)$$

где $\bar{\rho}$ – средняя плотность среды;

ϖ_j – массовая доля жидкой ($j=1$) и газообразной ($j=2$) фазы;

λ – скорость фазового перехода, определяемая как

$$\lambda = \frac{\partial (\bar{\rho} \varpi_1)}{\partial t}. \quad (2)$$

Массовая доля жидкой фазы вычисляется на основании решения уравнения Фурье – Каттанео для изолированной сферической капли усредненного диаметра:

$$\tau \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = - \left(\bar{q} + \alpha \frac{\partial T}{\partial x^1} \right) \quad (3)$$

и упрощенной системы уравнений поверхностного испарения жидкости при контакте со средой, чья эффективная температура выше температуры кипения, для капель малого диаметра кривизны при переменном давлении среды (уравнения Стефана и Клапейрона – Клазиуса):

$$j_s = \left(\frac{p \bar{D}^M}{\delta_b R_2 T} \right) \left[\ln \left(\frac{p - p_{2par}(r = d + \delta_b)}{p - p_{2par}(r = d)} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{Q_{1 \rightarrow 2}}{T(v_2 - v_1)}, \quad (5)$$

где j_s – поток массы испаряющегося вещества,

\bar{D}^M – средний массовый коэффициент диффузии многокомпонентного топлива, определяемый как

$$\bar{D}^M = \sum D_i^M \omega_i, \quad (6)$$

ω_i – массовая доля i -го компонента жидкой фазы;

δ_b – толщина кипящего слоя, окружающего изолированную частицу топлива (без учета реакций кипящего слоя),

R_2 – средняя газовая постоянная газообразной фазы топлива,

p_{2par} – парциальное давление паров топлива на поверхности раздела фаз, $r = d$, и на внешней границе кипящего слоя, $r = d + \delta_b$,

τ – время термической релаксации,

α – коэффициент теплопроводности,

$Q_{1 \rightarrow 2}$ – удельная теплота испарения,

v_1 и v_2 – удельный объем жидкой и газообразной фазы.

Процессом конденсации топлива, как правило, можно пренебречь в силу крайне низких парциальных давлений газообразной фазы не прореагировавшего топлива в большей части факела пламени и высокой температуры среды.

Математическая модель, исключаящая ошибки полуэмпирических и эмпирических интегральных коэффициентов, основана на получении характеристик среды по решению баллистической задачи для одиночной монотонно выгорающей капли топлива. При этом уравнение Стефана необходимо преобразовать

в многокомпонентную систему, позволяющую учесть различия между начальным и основным участками горения.

Уравнение диффузии для отдельных компонент (пренебрегая процессом конденсации для всех участков пламени, можно записать как:

$$j_{si} = \left(\frac{p D_i^M}{\delta_b \bar{R} T} \right) \left[\ln \left(\frac{p - p_{2ipar}(r = d + \delta_b)}{p - p_{2ipar}(r = d)} \right) - 1 \right], \quad (7)$$

где j_{si} – поток массы i -го компонента;

\bar{R} – средняя газовая постоянная кипящего слоя, определяемая как

$$\bar{R} = \frac{R_y}{\bar{\mu}}, \quad (8)$$

$\bar{\mu}$ – средняя киломолярная масса

$$\bar{\mu} = \sum \mu_i v_i, \quad (9)$$

v_i – мольная доля i -го компонента, суммирование по всем компонентам кипящей смеси.

Суммарная интенсивность испарения жидкой фазы при этом определяется интегрированием уравнения по всему объему капли с учетом итогового баланса распределения получаемой извне энергии между калорическим нагревом жидкости и ее поверхностным испарением:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial m}{\partial t} Q_{1 \rightarrow 2} + \bar{C}_p \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (10)$$

где \bar{C}_p – средняя удельная теплоемкость топливной смеси:

$$\bar{C}_p = \sum C_{pi} \varpi_{li}, \quad (11)$$

C_{pi} – удельная теплоемкость жидкой фазы

i -ой компоненты; член $\frac{\partial m}{\partial t}$ соответствует расходованию жидкой фазы в единицу времени:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \iint_{\Omega} \sum j_{si} dF, \quad (12)$$

где Ω – площадь поверхности капли. Вопрос о взаимосвязи плотности вероятности фазового перехода i -ой компоненты с теплотой испарения в настоящее время является предметом изучения МКТ; в рамках прикладного математического моделирования реагирующих потоков достаточно точным является традиционная модель, использующая пропорциональный

закон взаимосвязи между молярной долей компоненты в жидкой фазе v_{ji} и количеством испаряющегося вещества этой компоненты (для $T_1 \geq T_{bi}$; при $T_1 < T_{bi}$ предполагается отсутствие испарения, T_1 – температура поверхностного слоя капли, T_{bi} – температура кипения i -ой компоненты).

Диффузионный поток массы каждого компонента при этом находится по уравнению Берда – Хиршфельдера:

$$j_{ij} = -D_i^M \bar{\rho} \frac{\omega_{2i}}{v_i} \frac{\partial v_i}{\partial x^j} - \frac{D_i^T}{T} \frac{\partial T}{\partial x^j}, \quad (13)$$

где D_i^M , D_i^T – коэффициенты массовой и термомодиффузии i -го компонента соответственно;

$\bar{\rho}$ – средняя плотность среды:

$$\bar{\rho} = \sum \omega_{2i} \rho_i, \quad (14)$$

ρ_i – парциальная плотность i -ой компоненты, определяемая по уравнению состояния; суммирование по j отсутствует.

Граничные условия для полученной системы уравнений определяются из решения баллистической задачи для изолированной капли:

$$x_c^i(t) = x_{c0}^i + \int_{t_0}^t C_c^i dt, \quad (15)$$

$$C_c^i = C_{c0}^i + \int_{t_0}^t a_c^i dt, \quad (16)$$

$$ma_c^i = R^i = \iint_{\Omega} n^i p_{ij} dx^i dx^j, \quad (17)$$

где x_{c0}^i , C_{c0}^i – начальные координаты и компоненты скорости центра масс капли;

a_c – ускорение центра масс капли;

n^i – компоненты нормали к поверхности;

p_{ij} – тензор напряжений;

R – результирующая внешних сил, действующих на каплю топлива. Масса капли задается переменной.

В большинстве моделей при решении баллистической задачи изолированной капли пренебрегают касательными напряжениями на границе раздела сред:

$$R^i = \iint_{\Omega} p dF. \quad (18)$$

Кроме того, в целях упрощения модели исключается работа сил деформации капли при движении в газовом потоке и вращение капли, т.е. скорость релаксации внутренних напряжений полагается бесконечно большой.

На основании представленной математической модели возможно исследование окрестности капель.

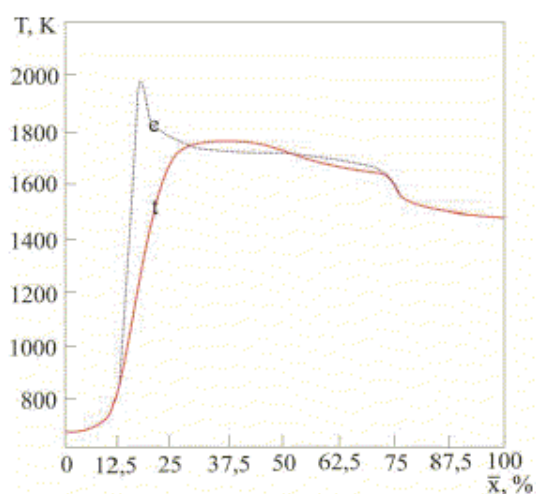
Процессы стимулированного горения в окрестности поверхности капли

В предыдущих разделах работы было установлено влияние содержания остаточных углеводородных соединений и радикалов на механизмы взаимодействия электрического разряда с реагирующей средой - в частности, существование экстремумов генерации (и, напротив, расхода) возбужденных частиц и оксидов азота для определенного уровня энергии свободных электронов разряда; различное поведение интенсивности основных и вспомогательных реакций при размещении разряда в зонах с $\omega_{\{CH_x\}}$, равным 0 и 0,2; изменение концентрации возбужденных частиц и скорости горения при варьировании концентрации частиц с нерасщепленными связями С – С в зоне размещения разряда, и другие явления, свидетельствующие о значительной зависимости электромеханических механизмов реакций от наличия непрореагировавших углеводородов как в стволе разряда, так и в зоне вторичной ионизации и участке присоединенного течения с высоким содержанием возбужденных частиц. В случае воздушного и кислородного горения метана вопрос о влиянии разряда на разрушение карбоновых цепочек не возникал по причине отсутствия связей данного типа в исходном топливе. При гетерогенном горении, напротив, крайне важно учитывать взаимодействие разряда с каплей топлива и интенсификацию процесса испарения в его окрестности, поскольку химический состав среды напрямую связан с данным процессом.

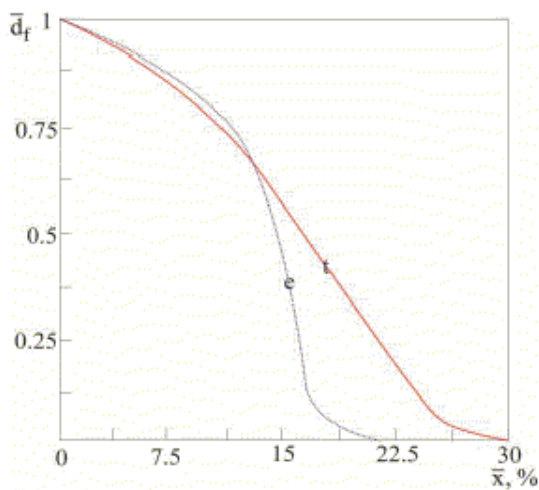
Согласно полученным данным, в целом увеличение средней энергии свободных электронов разряда приводит к усилению рассеивания капель, однако характеристики этого процесса зависят от начального размера капель топлива. Так, малые капли (10-15 мкм) при движении в окрестности разряда при энергии электронов свыше 50 эВ имеют менее 12% вероятности сохранить начальную траекторию, при этом дальнейшее увеличение энергии электронов практически не влияет на траектории капель.

В ходе моделирования были проведены численные эксперименты по исследованию влияния начального диаметра капель топлива, расположения разряда и энергии электронов на эволюцию топливного кластера одиночной деформируемой капли, в первую очередь - на концентрацию остаточных углеводородов, CH_2O , NO_x , возбужденных радикалов OH (Σ, Π, Δ),

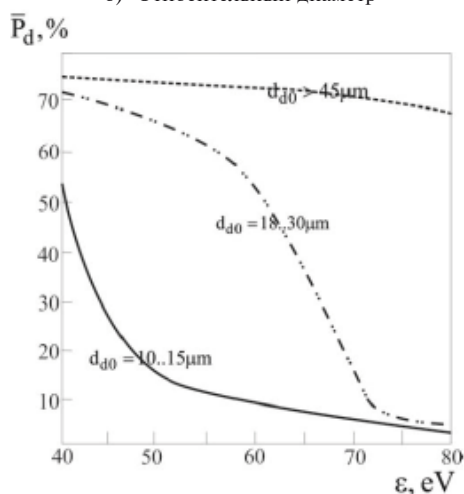
$O(^3P)$, $O(^1D)$, ионов H^+ , O^- , O^{2-} , O_2^{2-} и др. [3]. Результаты представлены на рис. 1, 2.



а) Температура

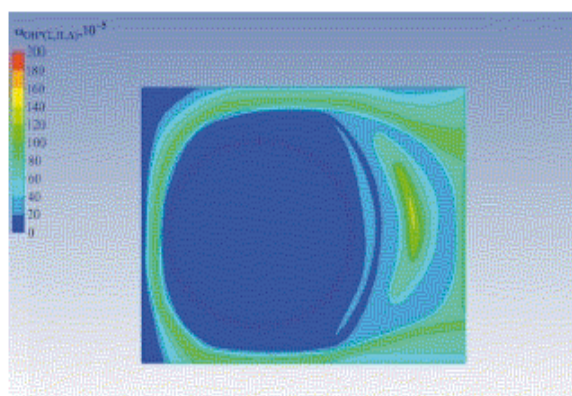


б) Относительный диаметр

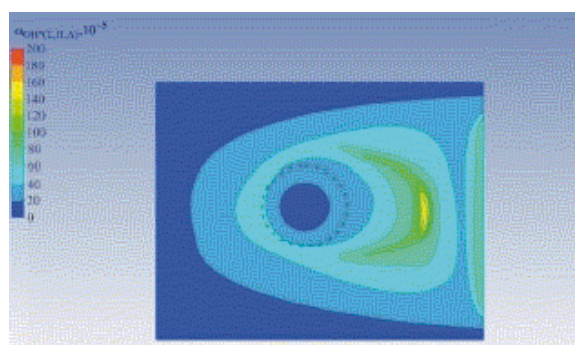


в) Вероятность сохранения каплей траектории движения

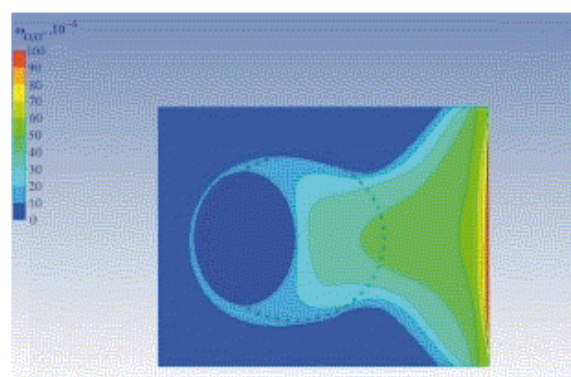
Рис. 1. Параметры термического и электрохимического горения капли



а) $d_s = 24 \mu m$; $\epsilon < 30 eV$



б) $d_s = 9 \mu m$; $\epsilon < 30 eV$



в) $d_s = 22 \mu m$; $\epsilon = 30..40 eV$

Рис. 2. Молярные доли возбужденных частиц и ионов

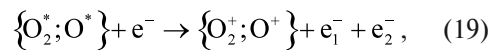
Капли среднего размера (от 18 до 30 мкм) в большей степени сохраняют траектории, аналогичные термическому горению, при $\epsilon \leq 60 eV$, при увеличении энергии до 70 происходит резкая перестройка течения с активным рассеиванием капель, причем данный процесс носит характер увеличения плотности капель в зоне вторичной ионизации (поскольку траектория исследуемой капли при прохождении через эту зону смещается в сторону разряда) и уменьшения — на участке присоединенного течения с повышенным содержанием возбужденных частиц. Дальнейшее увеличение мощности разряда не приводит к существенным

изменениям в поведении капель данного типа. Наконец, траектории крупных капель керосина с начальным диаметром свыше 45 мкм в целом очень слабо подвержены воздействию электрического разряда во всем рассматриваемом диапазоне энергий электронов. Как следствие, крупные капли топлива при высоких энергиях стимулирующего разряда наименее сепарированы по участкам электрохимического горения и создают неравномерные поля параметров и скорости реакций в окрестности разряда [3, 6].

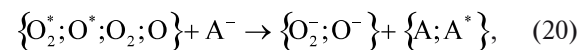
При движении через зону вторичной ионизации и присоединенный участок течения высокая температура также способствует очень быстрому переходу всех содержащихся в капле углеводородов в газообразное состояние, однако в отличие от случая движения непосредственно через ствол разряда скорость горения топлива повышается не так быстро, и в сечении с $\bar{x} = 0,16$ присутствует весьма крупный единый газообразный топливный кластер, а зона со значимым содержанием углеводородов имеет резко асимметричную форму, вытянутую в сторону разряда. Отсутствие электронной ионизации приводит к увеличению вклада реакций с участием возбужденных частиц в расщепление и окисление молекул топлива. Установлено, что несмотря на существенные различия в механизмах электрохимических реакций с телом разряда, в удаленных от разряда сечениях наблюдается аналогичный скачок концентраций реагентов с возбужденными S_2 и T_1 C – H связями, $\pi\pi^*$ C – C связями и гидроксильных радикалов в состояниях $b^1\Pi_g$ и $V^3\Sigma_g$. Увеличение концентрации радикала OH при этом растет даже интенсивнее, чем в стволе разряда – в 1,45 - 1,6 раз, доля реагента в возбужденных состояниях составляет до 15%, содержание возбужденных O – H связей в органических соединениях - до 3,2% [3].

Как в случае прохождения капли через ствол разряда, так и при движении через прилегающие к нему участки в общем случае наблюдается увеличение производства NO и N_2O по термическому механизму Зельдовича и, в меньшей степени, по механизму Фенимора. Наибольший вклад в образование NO в высших возбужденных формах вносят реакции с участием положительных ионов O_2^+ , O^+ , возбужденный атомарный кислород $O(^1D)$, возбужденные состояния молекулярного и атомарного азота серий $N(^2D)$, $N(^4D)$, $V^3\Pi_g$, $S^3\Pi_u$, $x^2\Sigma_g$, а также возбужденные циановые связи серий T_1 и выше. В то же время наблюдается блокировка большинства механизмов образования NO и N_2O за счет конкурирующих

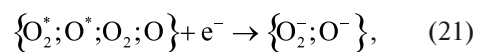
реакций в зонах с повышенным содержанием отрицательных ионов O_2^- , O^- , возбужденного молекулярного кислорода $a^1\Delta_g$, CH_2O в основном и возбужденных состояниях и соединений с возбужденными связями C – C и O – H различного типа [7]. Очевидно, что производство ионов O_2^+ , O^+ возможно только в стволе разряда по механизму ударной ионизации:



поскольку из-за высокого сродства к электрону атомов кислорода в зоне вторичной ионизации и присоединенного течения невозможно образование этих соединений ни путем электронного обмена, ни ионным ударом. Прямая ударная ионизация кислорода в основном состоянии также возможна, однако для электронов с энергией менее 55 эВ маловероятна из-за малого сечения ионизации невозбужденных частиц. В то же время генерация O_2^- , O^- вполне возможна как в стволе разряда, так и вне его за счет ионной перезарядки:



а равно электронной адгезии:



причем последний механизм свойственен электронам со сравнительно низкой (до 25 эВ) энергией.

Образование O^* , O^- , O_2^- и O_2^{2-} происходит значительно менее интенсивно по сравнению с возбужденными гидроксилами, несмотря на более высокую концентрацию кислорода и кислородсодержащих соединений в реакционной среде по сравнению с водой и другими источниками водородных атомов. В отличие от предыдущего случая, увеличение энергии разряда не приводит к заметной дополнительной генерации данных частиц и производство возбужденного и отрицательно ионизированного кислорода в богатой возбужденными частицами среде, по-видимому, зависит в первую очередь от начального диаметра капли. При $d_s = 9$ мкм наблюдается увеличение суммарной молярной доли реагентов до $8,2 \cdot 10^{-4}$, при этом максимум падает на однократно ионизированный молекулярный кислород, что нельзя объяснить исключительно перезарядкой в силу невысоких концентраций отрицательных ионов в столь удаленной от ствола разряда зоне. Очевидно, имеет место большое количество реакций алкильных соединений с высокими сериями возбужденных связей, приводящих к диссоциации про-

межуточных кислородсодержащих соединений с образованием отрицательных кислородных и положительных органических ионов.

При любом размещении разрядных устройств в зоне стимуляции относительная продольная площадь ствола разряда незначительна по сравнению с общей площадью сечения КС, благодаря чему большая (до 90-92%) часть капле топлива при электрохимическом горении движется через зону вторичной стимуляции и присоединенного течения, а также участки термического горения. Таким образом, основной вклад в формирование полей параметров вносят процессы испарения и горения капле топлива в зоне с низким содержанием свободных электронов и значительным - возбужденных частиц. Очевидно, эти процессы также имеют решающее значение для параметров потока на выходе из КС и эмиссии вредных веществ, в первую очередь - оксидов азота.

При численном моделировании стимулированного ВЧ и СВЧ-разрядами воздушного горения керосина с начальным диаметром капле топлива в диапазоне 5 - 20 мкм, частоте разряда 0,1 - 1,2 ГГц, статическом давлении 17,35 и 33,7 атм, температуре стимулируемой зоны 1800 - 2100 К были получены результаты, свидетельствующие о сложном характере влияния переменного разряда на процесс горения, содержащем принципиальные отличия как от стимуляции гомогенного пламени, так и от воздействия дугового разряда на керосино-воздушное пламя. Результаты моделирования процессов микроэнергообмена вблизи поверхности деформируемой капли и их влияние на итоговые параметры КС ГТД и термодинамические характеристики реагирующего течения представлены на рис.3 и 4.

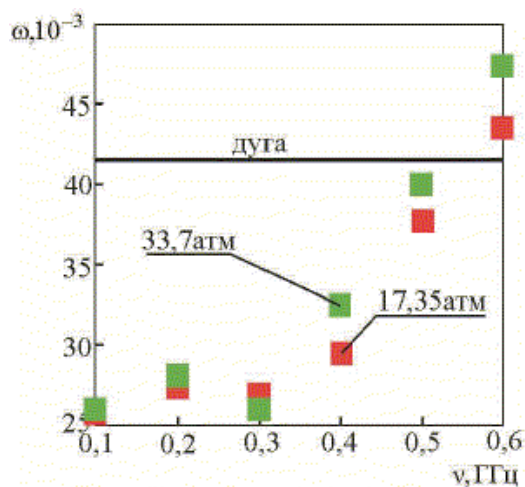


Рис. 3. Средние молярные доли возбужденных и ионизированных частиц в окрестности разряда 0,1 - 0,6 ГГц

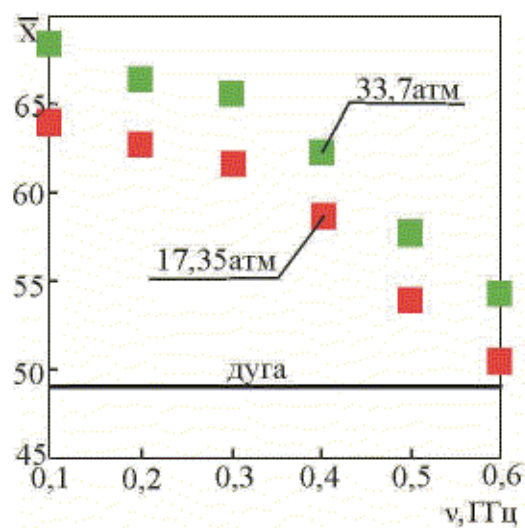


Рис. 4. Относительная длина участка существования жидкой фазы в окрестности разряда 0,1 - 0,6 ГГц

Как видно из рис. 3 и 4, давление в КС в целом слабо влияет на характер взаимодействия между СВЧ-разрядом и реагирующей гетерогенной средой. Напротив, частота стимулирующего разряда оказывает существенное воздействие как на процесс генерации возбужденных и ионизированных частиц, так и на сокращение участка испарения и выгорания капле топлива. При частоте разряда в диапазоне 500 - 700 МГц наблюдается максимум производства возбужденных и ионизированных частиц, обусловленный, во-первых, особенностями взаимодействия электронов низкой энергии (11 - 18 эВ) в стволе разряда при уменьшении напряженности электрического поля с возбужденными частицами CH_2O , N_2^+ , $\text{CH}(\text{T}_1, \text{T}_2)$, O_2 и другими реагентами; во-вторых - резонансом между частотой генерации кластеров частиц высоких возбужденных серий и нестационарными процессами вверх по течению от разряда вследствие лучистого энергообмена [3, 8, 9].

В отличие от гомогенного горения, по мере удаления в окружном направлении (т.е. вбок по потоку) от ствола разряда наблюдается не быстрое затухание колебаний температуры и скоростей горения углеводородов, генерации CH_2O и OH и NO , а медленное распространение нестационарности на расстояние до 80 мм от оси разряда при частоте разряда свыше 900 МГц и до 120 мм - при частотах в диапазоне 100 - 900 МГц. Химическая кинетика данного процесса включает большое количество конкурирующих реакций и, очевидно, обусловлена существованием высокоэнергетических эндотермических реакций в приповерхностном слое

испаряющейся капли, связанных с адгезией возбужденных частиц при высоком градиенте концентраций ОН, О и Н, обусловленных наличием границы раздела фаз. На расстояниях, превышающих вышеуказанные, не наблюдается сколь-либо существенных колебаний концентраций контрольных параметров или температуры среды (исследован промежуток времени 22 с). Интерференция поперечных возбуждений, создаваемых размещенных в одинаковых по химическому составу зонах горения СВЧ-разрядами, в зависимости от расстояния между стволами разряда приводит к увеличению зоны горения (по сравнению с одиночным стимулирующим разрядом или множественными, удаленными на расстояние, превышающее дистанцию распространения криптонестационарных эффектов) на 4 - 6% при увеличении производства NO на 18 - 31% и снижении дополнительного температурного эффекта на 20 - 26%. Очевидно, что вышеперечисленные эффекты являются негативными с точки зрения организации процесса в авиационной КС, и должны быть исключены при проектировании КС с электрохимическим рабочим процессом. Для предотвращения интерференции возбуждения и развития нестационарных режимов (в первую очередь, виброгорения) при использовании СВЧ-стимуляции в КС необходимо размещать стимулирующие разряды на расстояниях, превышающих дистанцию поперечного распространения нестационарностей на 20 - 25%, поскольку при изменении режима работы двигателя (и, соответственно, температуры и давления в КС) возможно некоторое незначительное увеличение данной дистанции.

Литература

1. Афанасьев В.В. Диагностика и управление устойчивостью горения электрическими полями и разрядами: дис. докт. техн. наук: 05.07.05 [Текст] / В.В. Афанасьев. — Казань, 2004. — 305 с.

2. Melius C.F. Unimolecular reaction mechanisms involved C_3H_4 , C_4H_4 , C_6H_6 hydrocarbon species [Текст] / C.F. Melius, J.A. Miller, E.M. Evleth // 24th Symp. (Intl.) Comb., The Combustion Institute, Pittsburg, 1992. P. 621.

3. Долматов Д.А. Закономерности термического и электрохимического горения углеводородных топлив в камерах сгорания газотурбинных двигателей: дис. докт. техн. наук: 05.07.05 [Текст] / Д.А. Долматов. — Харьков, 2016. — 358 с.

4. Померанцев В.В. Основы практической теории горения [Текст] / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.В. Ахмедов и др. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 312 с.

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. Долматов Д.А. Низкотемпературное образование NO при электрохимическом горении [Текст] / Д.А. Долматов // Авиационно-космическая техника и технология. — 2015. — №7/124. — С. 72 — 76.

7. Esposito F. Quasi-classical dynamics and vibrational kinetics — N system [Текст] / F. Esposito, M. Capitelli, and C. Gorse // Chem. Physics, 2000.— V. 257.— P. 193-202.

8. Hara H. The effect of initial diameter of free droplet combustion with spherical flame [Текст] / H. Hara, S. Kumagai // Proc. 25th Symp. On Combustion. — Pittsburgh, PA, The Combustion Institute, 1994. — PP. 423 — 430.

9. Transfer of vibrational energy to electronic excited states and vibration enhanced carbon production in optically excited V-V pumped CO [Текст] / H.L. Wallaart, B. Piar, M.-Y. Perrin, and J.-P. Martin // Chemical Physics, 1995. — V. 196. — PP. 149—169.

Поступила в редакцию 07.08.2017 г.

Д.А. Долматов. Фізико-хімічні процеси поблизу поверхні краплини керосину, що деформується

Вивчено процеси у безпосередньому довіллі поверхні краплини керосину, що деформується, при змінній температурі середовища, початковому діаметру краплини та механізмах окислення вуглеводнів. Встановлено існування залежності між особливостями траєкторії руху краплини, механізмом деформації та руйнування, параметрами середовища і термодинамічними та емісійними показниками процесу горіння. Сформовані принципи покращення мікрорівневих показників горіння краплини і їх взаємозв'язок з емісійними та термодинамічними параметрами реагуючого середовища для типових значень температури газу.

Ключові слова: *поверхня, що деформується; газова фаза, температурні коливання, швидкість реакції, приповерхневі процеси.*

D.A. Dolmatov. Physical-chemical processes nearby kerosene droplet deforming surface

The article contents the studying results of processes which take place in the very neighborhood of kerosene droplet deforming surface for various domain temperature, initial droplet diameter and hydrocarbons oxidation mechanisms. The dependence between droplet trajectory, deformation and destruction mechanisms, domain parameters and thermodynamic and emission combustion characteristics was researched. There have been founded main principles of micro-level combustion parameters improvement as results of micromanagement of emission and thermodynamical parameters for typical gas temperature values.

Key words: *deforming surface, gaseous phase, temperature oscillation, reaction speed, near-surface processes.*