

А. С. АСКАРОВА, М. Ж. РЫСПАЕВА, И. Э. ВОЛОШИНА, С. А. БОЛЕГЕНОВА

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИУСА ВПРЫСКИВАЕМЫХ КАПЕЛЬ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Проведено численное исследование влияния начального радиуса впрыскиваемых капель жидкого топлива на его горение. Получены распределения температуры по высоте камеры сгорания, капель впрыскиваемого топлива для различных радиусов и для двух видов топлив.

Изучение параметров горения паровоздушных смесей представляет интерес как для практики (пожаро- и взрывобезопасность технологических процессов, двигатели внутреннего сгорания и т.д.), так и для развития теоретических представлений о процессе горения жидких топлив.

Горение распыленного жидкого топлива в турбулентном потоке воздуха широко используется в различных устройствах. В условиях, типичных для камер сгорания, из-за нестационарного характера турбулентных пульсаций и инерционности капель скорость их обтекания оказывается настолько значительной, что горение капель

как индивидуальных образований невозможно [1]. Поэтому превращение вещества происходит в едином фронте пламени, который формируется при смешении воздуха и паров топлива, испаренного совокупностью капель [2].

В данной работе ставится задача исследования характеристик горения жидкого топлива в цилиндрической камере сгорания в зависимости от радиуса впрыскиваемых капель на основе численного решения системы дифференциальных трехмерных уравнений турбулентного реагирующего течения.

Основные уравнения математической модели задачи о дисперсии и горении впрыска жидкого топлива, взятые из работ [3-8], включают в себя уравнение неразрывности (1), уравнение импульса (2), уравнение энергии (3), k-ε модель турбулентности (4, 5), которые имеют следующий вид:

уравнение неразрывности для компоненты m :

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho_m \mathbf{u}) - \vec{\nabla} \left[\rho D \vec{\nabla} \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right) \right] + \dot{\rho}_m^c + \dot{\rho}_m^s \delta_{ml}, \quad (1)$$

уравнение импульса:

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) - \frac{1}{a^2} \vec{\nabla} p - A_0 \vec{\nabla} \left(\frac{2}{3} \rho k \right) + \vec{\nabla} \vec{\sigma} + \vec{F}^s + \rho \vec{g}, \quad (2)$$

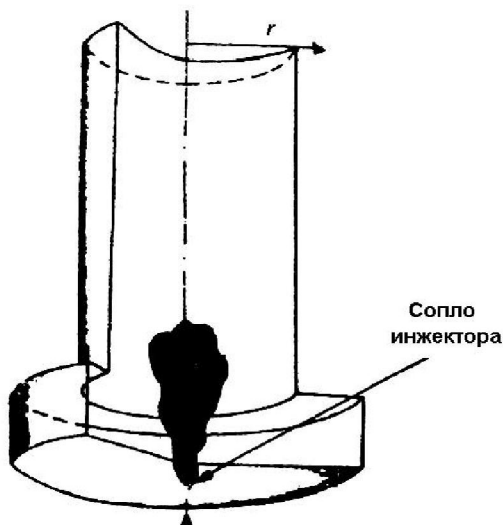


Рис. 1. Геометрия камеры сгорания [6]

уравнение энергии:

$$\frac{\partial(\rho I)}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \mathbf{u} I) - p \vec{\nabla} \mathbf{u} + (1 - A_0) \sigma \vec{\nabla} \mathbf{u} - \vec{\nabla} \vec{J} + A_0 \rho \varepsilon + \dot{Q}^c + \dot{Q}^s, \quad (3)$$

где $\vec{J} = -K \nabla T - \rho D \sum_m h_m \nabla \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right),$

уравнения k-ε модели турбулентности:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \mathbf{u} k) - \frac{2}{3} \rho k \vec{\nabla} \mathbf{u} + \vec{\sigma} : \vec{\nabla} \mathbf{u} + \vec{\nabla} \left[\left(\frac{\mu}{Pr_k} \right) \vec{\nabla} k \right] - \rho \varepsilon + \dot{W}^s, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \mathbf{u} \varepsilon) - \left(\frac{2}{3} c_{\varepsilon_1} - c_{\varepsilon_3} \right) \rho \varepsilon \vec{\nabla} \mathbf{u} + \vec{\nabla} \left[\left(\frac{\mu}{Pr_\varepsilon} \right) \vec{\nabla} \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} [c_{\varepsilon_1} \vec{\sigma} : \vec{\nabla} \mathbf{u} - c_{\varepsilon_2} \rho \varepsilon + c_s \dot{W}^s]. \quad (5)$$

Результаты численного моделирования влияния начального радиуса капель на процесс горения впрыска жидкого топлива, представленные на рис. 1-4, были получены для двух видов топлива: бензина (C_6H_6) и додекана ($C_{12}H_{26}$). Начальная температура воздуха в камере сгорания 900К. Общая масса впрыскиваемого топлива равна 10 мг; эта масса инжестировалась в камеру в

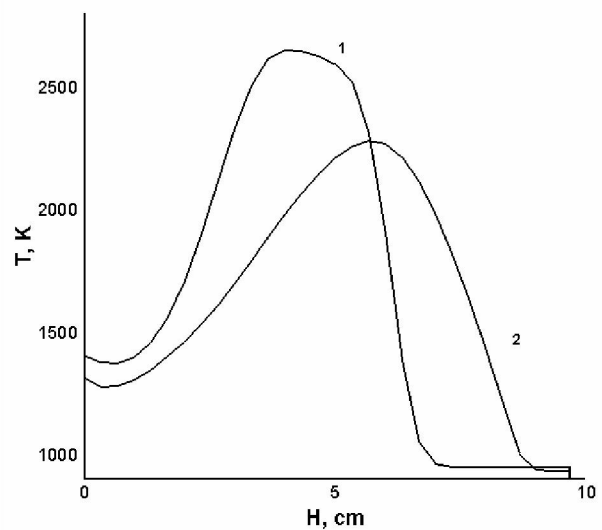
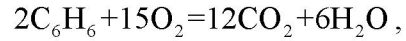


Рис. 2. Распределение температуры по высоте камеры сгорания при горении: 1 – C_6H_6 ; 2 – $C_{12}H_{26}$

течение 1,6 мс со скоростью 220 м/с. Начальная температура впрыскиваемых капель 300К. Радиус капле в численном эксперименте менялся от 1 до 20 микрон.

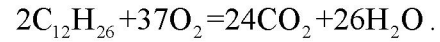
Топливо, которое поступает в камеру сгорания через сопло (рис. 1) площадью $2 \cdot 10^{-4}$ см², высотой 10 см и радиусом 2 см, расположенное в нижней части камеры, распадается на капли. Эти капли постепенно испаряются, смешиваясь с воздухом. Через некоторое время смесь пара топлива и воздуха начинает гореть.

Химическая кинетика процесса горения бензина представлена в виде обобщенной химической реакции:



в результате которой образуются следующие продукты горения: H₂O и CO₂.

Соответственно, для второго топлива (додекана C₁₂H₂₆) реакция горения имеет вид:



На рис. 2 представлено распределение температуры при начальном радиусе впрыскиваемых капель 20 микрон. Из данного рисунка видно, что бензин горит с большим выделением теплоты, чем додекан, поскольку температура в камере при горении C₆H₆ достигает значения 2500К, а для C₁₂H₂₆ – 2200К. Зона интенсивного горения для

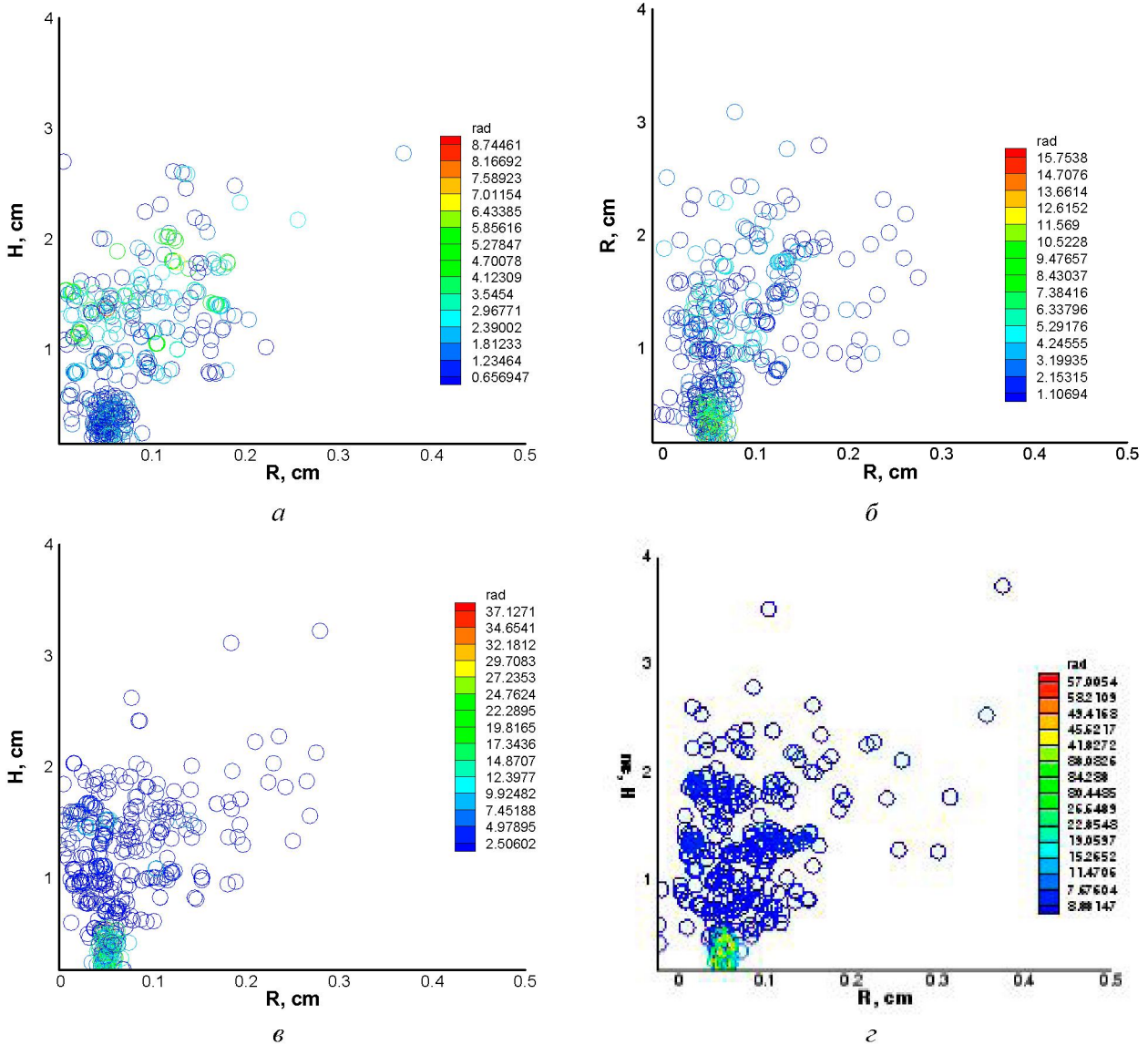


Рис. 3. Распределения капле по радиусам при горении бензина (C₆H₆) при начальных радиусах: а – 1 микрон; б – 5 микрон; в – 10 микрон; г – 20 микрон

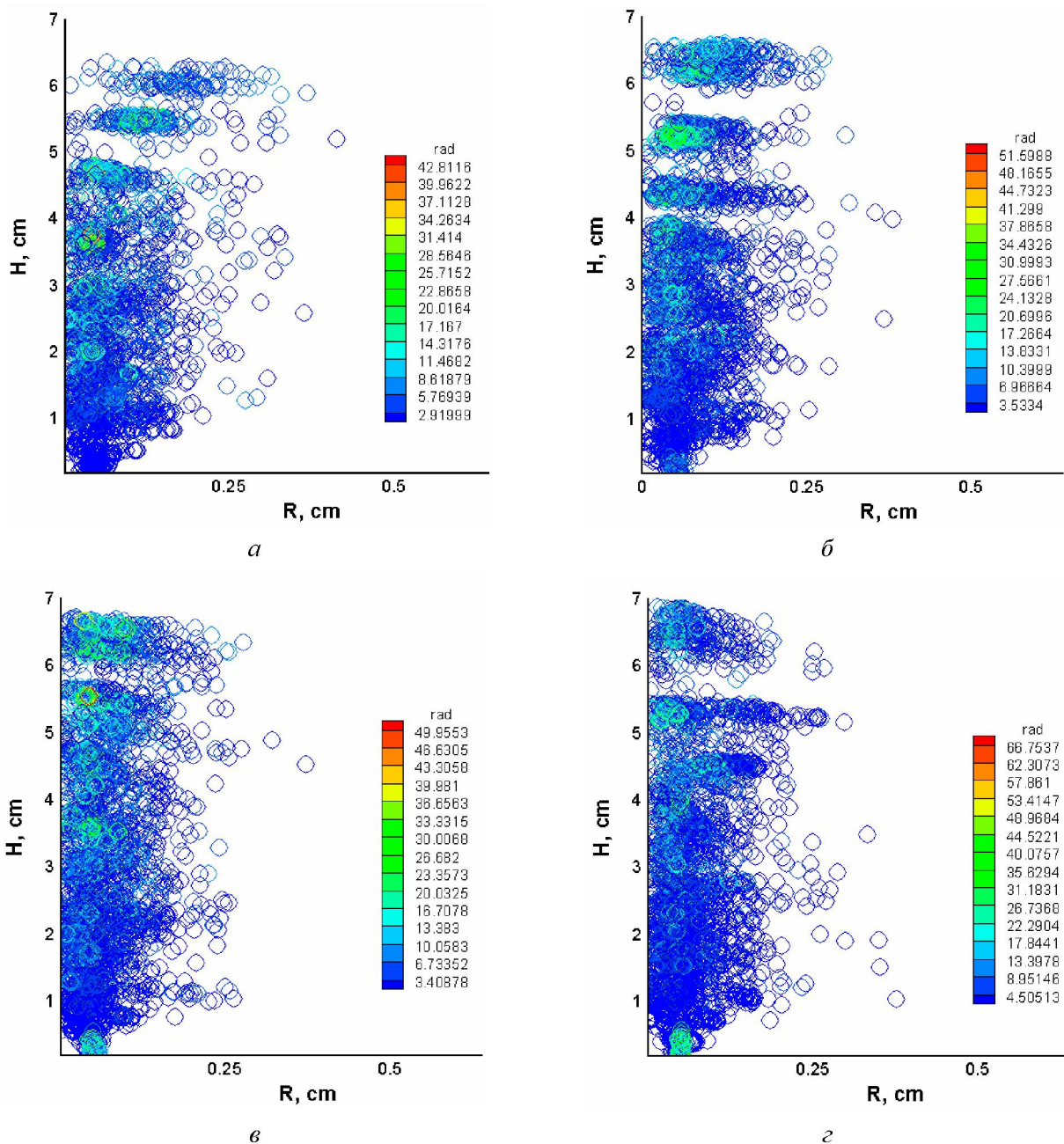


Рис. 4. Распределения капель по радиусам при горении додекана ($C_{12}H_{26}$) при начальных радиусах: *a* – 1 микрон; *б* – 5 микрон; *в* – 10 микрон; *г* – 20 микрон

бензина находится в области 4-6 см по высоте камеры сгорания, для додекана эта область расположена немного выше (6-7 см).

Распределения капель по пространству камеры при различных начальных радиусах при впрыскивании бензина приведены на рис. 3, аналогичные распределения для додекана показаны на рис. 4.

Из рис. 3 видно, что начальный радиус влияет на последующее распределение капель бензина в пространстве камеры сгорания: при впрыски-

вании каплей с начальным радиусом в 1 микрон, в камере капли могут достигать свыше 8 микрон (рис. 3 а), в 20 микрон – 57 микрон соответственно (рис. 3 г).

Однако начальный радиус капель не оказывает существенного влияния на дисперсию и степень проникновения жидких частиц в камеру сгорания. Можно увидеть, что во всех случаях капли бензина сосредоточены в области до 0,2 см вдоль радиуса камеры и до 2,5 см по высоте.

В случае горения другого вида топлива (додекана), результаты несколько иные. Несмотря на изменение начального радиуса от 1 до 20 микрон, при проникновении капель в пространство камеры сгорания их радиусы достигают среднего значения 25-30 микрон, максимальные значения меняются от 42-66 микрон.

Сравнивая рис. 3 и 4, можно придти к выводу о том, что максимальное влияние начальный радиус оказывает на жидкие частицы более легких по молекулярному составу топлив. В случае с более тяжелыми молекулами оказываемое начальным радиусом влияние незначительно.

В данной работе было проведено численное моделирование процесса впрыска жидкого топлива в камеру сгорания. Было исследовано влияние начального радиуса капель на горение жидких топлив (бензина и додекана) и проведено сравнение температурных полей и распределения радиусов в камере сгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Р. Влияние турбулентности на горение распыленного жидкого топлива // Физика горения и взрыва. 1988. 24. № 6.
2. Зайцев С.А., Кузнецов В.Р., Кунцев Г.М. Влияние прогрева и испарения жидкого топлива на горение в модельной камере сгорания // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 6. С. 45-52.
3. Аскарова А.С., Рыспаева М.Ж. Расчет горения впрыска жидкого топлива в замкнутой камере // Вестник КазНУ. Серия физическая. 2006. № 1(21). С. 74-78.
4. Аскарова А.С., Гороховски М.А., Рыспаева М.Ж. Моделирование образования CO_2 при горении жидких впрысков // Вестник КазНУ. Серия физическая. 2006. № 2(22). С. 51-54.
5. Sabel'nikov V., Gorokhovski M., Baricault N. The extended IEM mixing model in the framework of the composition PDF approach: applications to diesel spray combustion // Combustion Theory and Modelling. 2006. V. 10, N 1. P. 155-169.
6. Gorokhovski M. and Borghi R. Model of soot formation and oxidation in diesel engines // Journal of diesels, Transactions of SAE. 1993. 930075.
7. Askarova A.S., Voloshina I.E., Ryspayeva M.Zh. Numerical study of mass influence on the process of combustion of liquid fuel spray // Abstracts of V-th International conference "Problems of industrial heat engineering". Kiev, 2007. P. 27-28.
8. Аскарова А.С., Рыспаева М.Ж., Волошина И.Э. Влияние массы на моделирование процесса горения впрыска жидкого топлива // Вестник КазНУ. Серия физическая. 2007. № 1(23). С. 68-72.

Резюме

Сұйық отын бүріктірген тамшылардың бастапқы радиустың отын жану әсеріне сандық зерттеу жүргізілді. Жану камерасының биіктігімен температураның, бүрік-тірген отын тамшылардың таралуын әртүрлі радиустарда және екі отындар үшін алынды.

Summary

It has been investigated numerically the influence of the initial radius of the injected droplets of liquid fuel on its combustion. It has been obtained the distributions of temperature along the height of the burner chamber and of droplets of the sprayed fuel for various radii and for two types of fuel.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
г. Алматы

Поступила 01.10.0г.