

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

2 (306)

НАУРЫЗ – СӘУІР 2016 ж.

МАРТ – АПРЕЛЬ 2016 г.

MARCH – APRIL 2016

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 306 (2016), 40–47

UDC 342.7(574)

**INVESTIGATION OF ATOMIZATION, IGNITION
AND COMBUSTION PROCESSES OF DIFFERENT TYPES
OF LIQUID FUEL**

**A. Askarova¹, S. Bolegenova¹, M. Gorokhovskiy²,
Sh. Ospanova¹, A. Nugymanova¹, S. Utelov¹**

¹Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

²Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France

shinar_ospanova87@mail.ru

Key words: numerical modeling, combustion chamber, gasoline, heptane, tetradecane.

Abstract. This article presents the results of numerical modeling of atomization and combustion processes of various types of liquid fuel depending on the fuel injection speed in the combustion chamber. On the basis of the solution of differential equations of turbulent reacting flows have been studied combustion processes depending on different initial injection speed of liquid fuels drops. Optimal parameters of gasoline's, heptane's and tetradecane's combustion have been found. There have been obtained distributions of the flame by height, the drops radii, the temperature field and the fuel vapor during the optimal initial injection rate.

УДК 532.517.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПЫЛА,
ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО ВИДА
ЖИДКОГО ТОПЛИВА**

**А. Аскарлова¹, С. Болегенова¹, М. Гороховский²,
Ш. Оспанова¹, А. Нұғыманова¹, С. Утелов¹**

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Центральный Лионский университет, г. Лион, Франция

Ключевые слова: численное моделирование, камера сгорания, бензин, гептан, тетрадекан.

Аннотация. В данной статье представлены результаты численного моделирования процессов распыла и горения различного вида жидкого топлива в зависимости от скорости впрыска в камере сгорания. На основе решения дифференциальных уравнений турбулентного реагирующего течения проведено исследование процессов горения в зависимости от различных начальных скоростей капель впрысков жидких топлив. Определены оптимальные параметры горения бензина, гептана и тетрадекана. Были получены распределения высоты температурного факела, капель по радиусам, поля температуры и паров топлива при оптимальной начальной скорости впрыска.

Горение жидких топлив отличается рядом специфических особенностей, обусловленных протеканием химических реакций в условиях динамического и теплового взаимодействия реагентов, интенсивного массопереноса при фазовых превращениях, а также зависимостью параметров процесса, как от термодинамического состояния системы, так и от ее структурных характеристик. Многообразие и сложность указанных факторов создают известные трудности при

разработке полноценной теории. Существенные результаты в этом направлении могут быть получены на основе последовательного приложения методов механики гетерогенных систем к описанию процессов горения двухфазных сред [1-2].

Явления конвективного теплообмена в турбулентных течениях с химическими реакциями широко распространены и играют большую роль в природных процессах, а также в различных отраслях промышленности. Знание закономерностей таких течений является важным при построении теории физики горения, при создании новых физико-химических технологий, а также при решении проблем теплоэнергетики и экологии. При этом в исследованиях сложный процесс горения необходимо анализировать в зависимости от влияния многочисленных физических и химических параметров реакции горения. Особый интерес при изучении явлений в многофазных системах представляет собой развитие теории образования жидких капель в развитой турбулентности. Дисперсия в нейтральных атмосферных течениях была хорошо изучена за последние десятилетия с помощью численных, лабораторных и натуральных исследований [3].

Методы математического моделирования нашли широкое применение в различных областях науки и техники. Эти методы включают в себя разработку физических и математических моделей, численных методов и программного обеспечения, проведение численного эксперимента с привлечением средств вычислительной техники (его результаты анализируются и используются в практических целях). В науке и технике преимущества метода компьютерного моделирования очевидны: оптимизация проектирования, сокращение затрат на отработку, повышение качества продукции, уменьшение эксплуатационных расходов и т.д. Численное моделирование существенно преобразует также сам характер научных исследований, устанавливая новые формы взаимосвязи между экспериментальными и математическими методами.

Внедрение новых технологий требует значительных затрат, в связи с чем к методам проектирования и отработки оборудования предъявляются все возрастающие требования. Таким образом, в настоящее время, особое внимание приобретает не только создание эффективных физических и математических моделей, но и разработка новых более совершенных методов численной реализации систем разностных уравнений, описывающих конвективный теплоперенос в камерах сгорания. Математическое моделирование горения жидких топлив является сложной задачей, так как требует учета большого количества сложных взаимосвязанных процессов и явлений: многоступенчатые цепные химические реакции, перенос импульса, тепла и массы путем конвекции, молекулярный перенос, излучение, турбулентность, испарение жидких капель.

Математическая модель задачи о горении в камере сгорания жидкого топлива основывается на уравнениях движения для жидкой фазы, сопровождаемой капельным испарением, а также на уравнениях энергии и переноса массы с соответствующими начальными и граничными условиями [4-7]:

Уравнение неразрывности для компоненты реакции m имеет вид:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho_m \vec{u}) = \vec{\nabla} \left[\rho D \vec{\nabla} \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right) \right] + \dot{\rho}_m^c + \dot{\rho}^s \delta_{m1}, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии, ρ_m – массовая плотность жидкой фазы, ρ – полная массовая плотность, $\dot{\rho}_m^c$ – химический источниковый член; $\dot{\rho}^s$ – источниковый член вследствие впрыска; \vec{u} – скорость жидкости.

Уравнение неразрывности для жидкости имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \vec{u}) = \dot{\rho}^s \quad (2)$$

Уравнение движения для смеси жидкостей:

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

где p – давление жидкости, α – безразмерная величина, A_0 равно 0 при ламинарном течении и 1 – при турбулентности. Тензор вязких напряжений имеет вид:

$$\sigma = \mu \left[\vec{\nabla} \vec{u} + (\vec{\nabla} \vec{u})^T \right] + \lambda \vec{\nabla} \vec{u} \vec{I}. \quad (4)$$

Здесь μ – динамическая вязкость жидкости, λ – коэффициент вязкости, g – ускорение свободного падения и I – удельная внутренняя энергия.

Уравнение внутренней энергии представлено ниже:

$$\frac{\partial(\rho \vec{I})}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u} \vec{I}) = -\rho \vec{\nabla} \vec{u} + (1 - A_0) \sigma \vec{\nabla} \vec{u} - \vec{\nabla} \vec{J} + A_0 \rho \varepsilon + \dot{Q}^c + \dot{Q}^s, \quad (5)$$

где \dot{Q}^c – источниковый член, обусловленный тепловыделением в результате химической реакции и \dot{Q}^s – тепло, которое приносит впрыскиваемое топливо. Вектор теплового потока J складывается из электропроводности и переноса энтальпии.

При использовании модели турбулентности ($A_0=1$) решаются уравнения для кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ε :

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u} k) = -\frac{2}{3} \rho k \vec{\nabla} \cdot \vec{u} + \sigma \cdot \nabla \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot \left[\left(\left(\frac{\mu}{Pr_k} \right) \vec{\nabla} k \right) \right] - \rho \varepsilon + \dot{W}^s, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u} \varepsilon) = & -\left(\frac{2}{3} c_{\varepsilon 1} - c_{\varepsilon 2} \right) \rho \varepsilon \vec{\nabla} \cdot \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot \left[\left(\left(\frac{\mu}{Pr_\varepsilon} \right) \vec{\nabla} \varepsilon \right) \right] + \\ & + \frac{\varepsilon}{k} \left[c_{\varepsilon 1} \sigma \vec{\nabla} \vec{u} - c_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + c_s W^s \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Величина \dot{W}^s возникает вследствие взаимодействия с распылителем. Константы $c_{\varepsilon 1}, c_{\varepsilon 2}, c_s, Pr_k, Pr_\varepsilon$ определяются из эксперимента [8-9].

Существует несколько моделей распыла топлива. Наиболее широко известна глобальная модель механизма распада топлива, включающая в себя классическую модель вторичного распада. В данной статье представлены результаты численного моделирования процессов распыления и горения жидкого топлива в зависимости от давления в камере использованием математической стохастической модели вторичного распыла [10]. В данной статье были использованы три вида жидкого топлива: бензин, гептан и тетрадекан.

Жидкое топливо массой 0,06 г при температуре 298 К распылялось через сопло, расположенное в центре основания камеры. Топливо, впрыскиваемое в камеру сгорания, которая была заполнена воздухом при температуре 800К, сначала испарилось, после чего сгорело в газовой фазе. Процесс горения жидкого топлива в среднем занимал 4 мс. Время распыления жидкого топлива равно $1,4 \cdot 10^{-3}$ с.

Камера сгорания представляет собой цилиндр, высотой 15 см, диаметром 4 см. Общий вид камеры сгорания представлен на рисунке 1. Расчетная область состоит из 600 ячеек. Время горения топлива 4 мс. Жидкое топливо впрыскивается в камеру сгорания через круглое сопло, расположенное в центре нижней части камеры. Время инъекции капель топлива 1,4 мс. Площадь инжектора составляет $2 \cdot 10^{-4}$ см².

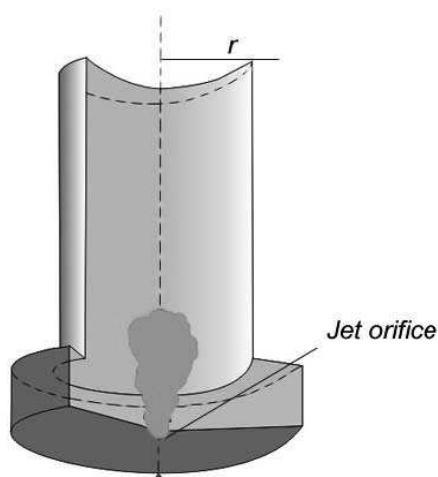


Рисунок 1 – Общий вид камеры сгорания

Целью данной статьи является изучение влияния скорости впрыска жидкого топлива на его горение с помощью численного моделирования на основе решения дифференциальных двумерных уравнений турбулентного реагирующего течения. Скорость впрыска жидкого топлива менялась от 150 до 350 м/с. На рисунке 2 показано изменение высоты температурного факела при изменении скорости впрыска жидких топлив. Было установлено, что при низких скоростях впрыска жидкого топлива (меньше 150 м/с) горение не происходит, поскольку в этом случае скорость впрыска не является достаточной для того, чтобы началось воспламенение и стабилизировалась реакция горения [11].

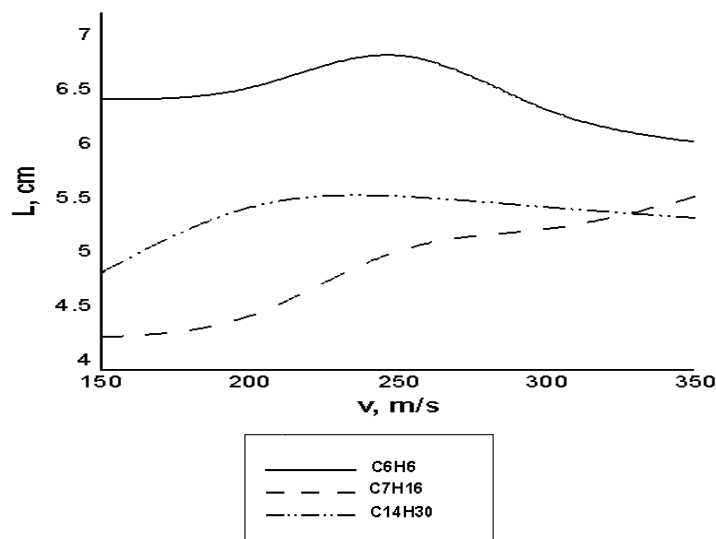


Рисунок 2 – Изменение высоты температурного факела при изменении скорости впрыска жидких топлив

Ниже приведены результаты численного моделирования по горению впрысков жидких топлив для оптимальных масс и скоростей впрыска и температуры газа в камере сгорания. Рисунок 3 показывает дисперсию и распределение температур капель для трех топлив в камере сгорания при оптимальных массах и скоростей впрыска и температурах газа.

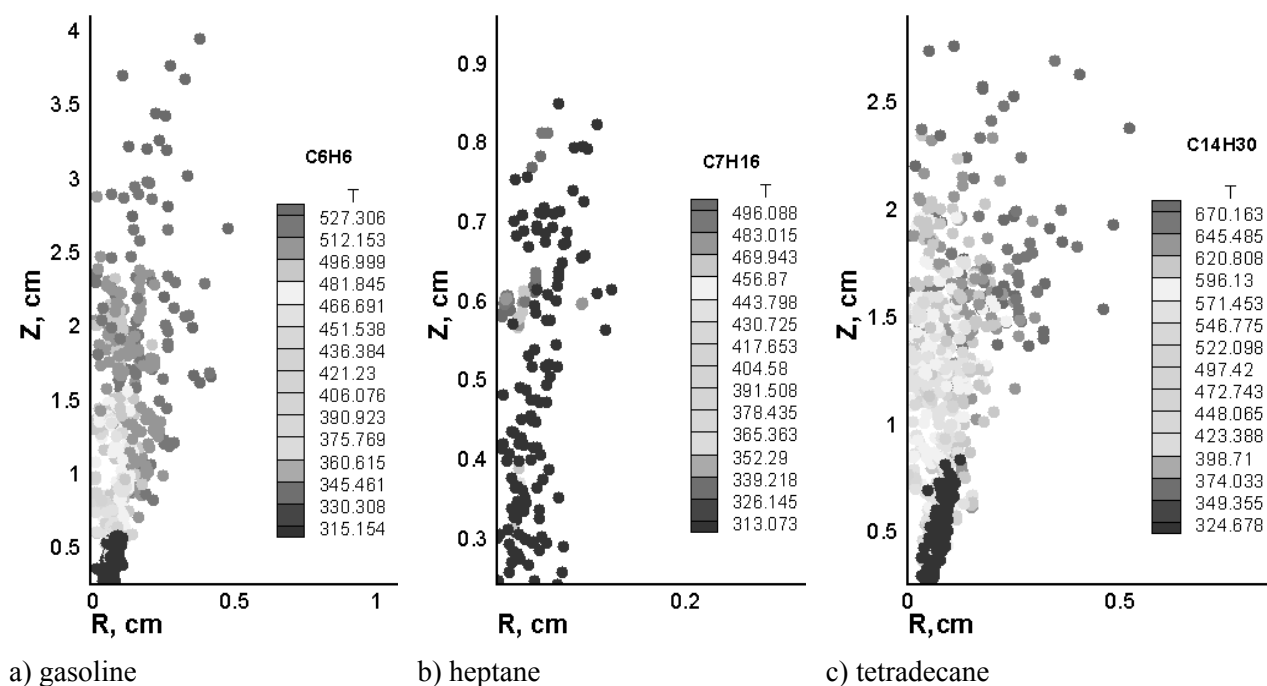


Рисунок 3 – Капли жидких топлив при оптимальных параметрах

На рисунках 4,5 приведены графики изменения температуры и концентрации паров топлива в камере сгорания при сжигании бензина, гептана и тетрадекана в момент времени 4 мс. Данные получены для оптимальной скорости впрыска этих видов топлива.

Анализ рисунка 4 показывает изменение температуры в камере сгорания для трех видов топлива. Можно заметить, что для бензина область максимальных температур (ядро факела) достигает 6,5 см по высоте камеры сгорания, вся остальная часть камеры разогревается до 1300К (рисунок 4 а). Результаты для гептана и тетрадекана аналогичны результатам для бензина в качественном отношении, различаясь количественно. Анализ рисунка 6 б показывает, что максимальная температура в камере сгорания при горении гептана равна 1300К в момент времени 4 мс. Остальная часть камеры сохраняет первоначальное значение температуры 900 К. Анализ рисунка 4 с в показывает, что наибольшее значение, до которого прогревается камера сгорания при сжигании тетрадекана, равно 2022 К, при этом температурный факел расположен выше, чем для гептана (рисунок 4 б). В камере температура в конечный момент времени 4 мс равна 1200 К.

Аналогичные исследования в области моделирования двухфазных реагирующих течений в присутствии горения проводятся в лаборатории моделирования проблем тепломассопереноса при Казахском национальном университете им. аль-Фараби. Учеными данной лаборатории были изучены основные характеристики горения твердого топлива при изменении размеров частиц в моно- и полидисперсной среде, а также при обработке термохимической обработкой топлива с активированной плазмой. В данных работах были сравнены характеристики течения для различных режимов горения с экспериментальными данными, которые хорошо согласуются между собой [12-15].

На следующем рисунке 5 можно наблюдать, как меняется концентрация паров бензина, гептана и тетрадекана в конечный момент времени $t=4$ ms. На рисунке 7 б представлено распределение паров гептана в различные моменты времени. В конечный момент времени для оптимальных параметров концентрация топлива в камере сгорания практически равна нулю. Из рисунка 7 с видно, что в момент времени 4 мс концентрация паров тетрадекана равна нулю, поскольку к этому моменту времени топливо полностью прореагировало с окислителем и в результате этой реакции образовались углекислый газ CO_2 и вода H_2O .

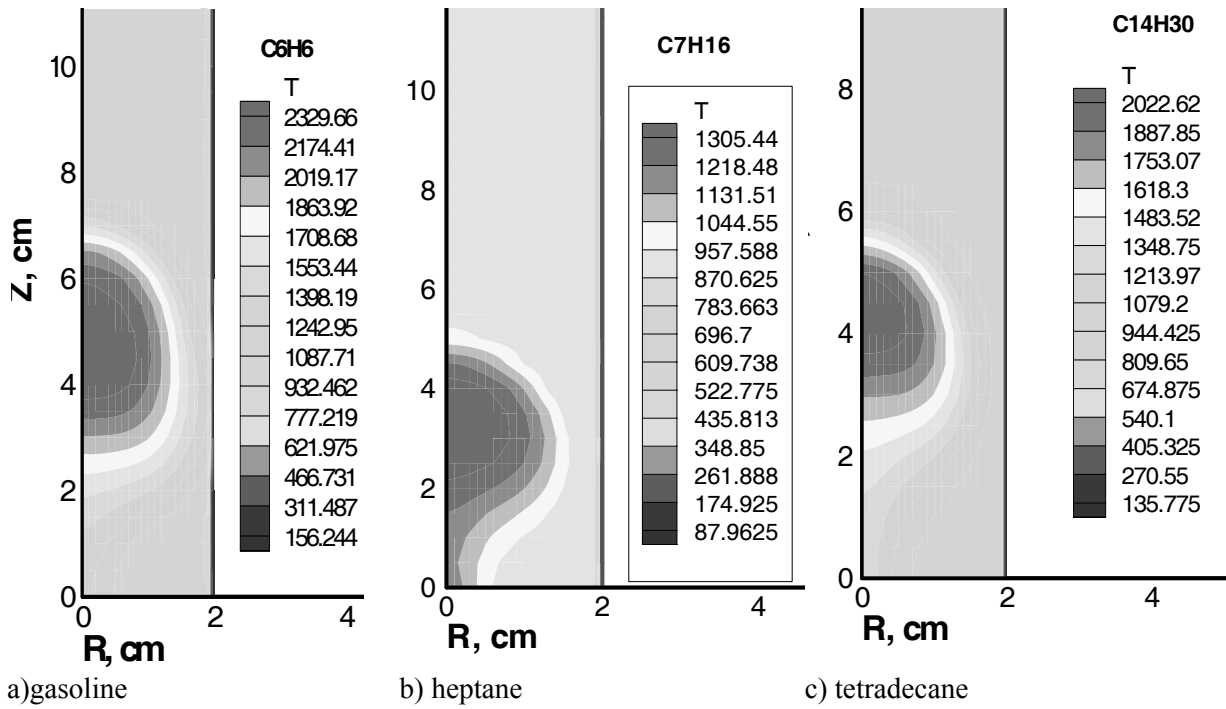


Рисунок 4 – Распределение температуры в камере сгорания при горении различных видов жидкого топлива в момент времени 4 мс

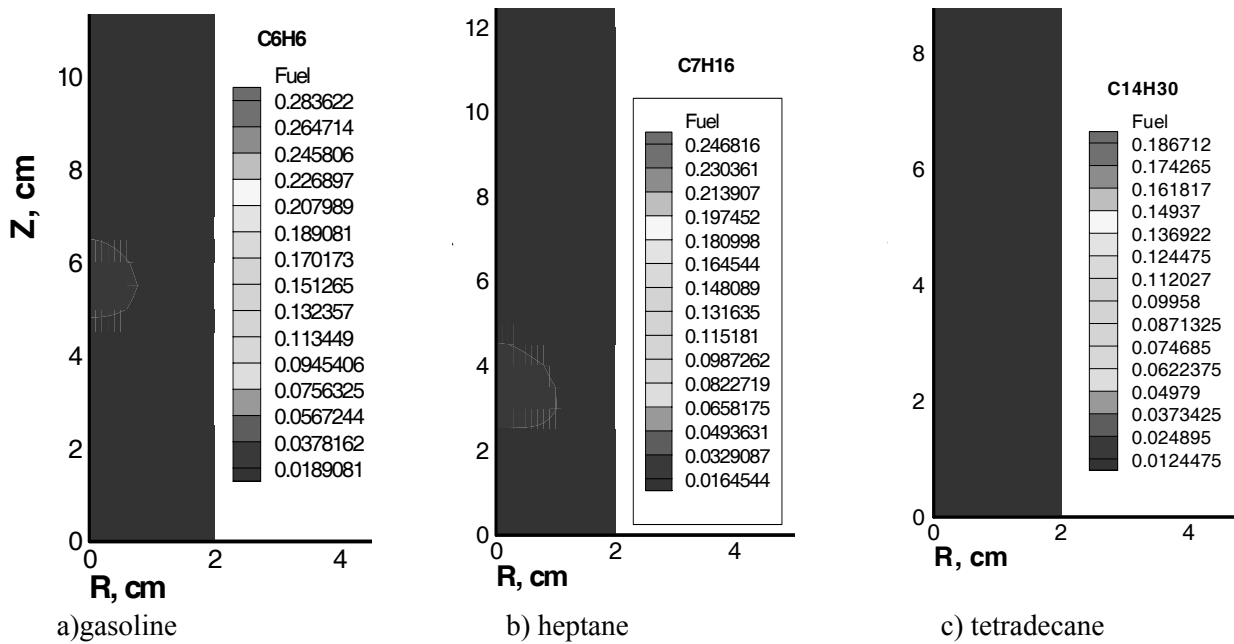


Рисунок 5 – Распределение паров топлива в камере сгорания при горении трех видов жидкого топлива в момент времени 4 мс

В данной статье приведены результаты компьютерных экспериментов по горению жидких впрысков топлив при высокой турбулентности. Проведено исследование процессов горения в зависимости от различных начальных скоростей капель впрысков жидких топлив. Определены оптимальные параметры горения для бензина, гептана, тетрадекана.

В результате проведенных вычислительных экспериментов было установлено, что наиболее эффективно процесс горения бензина протекает при скорости впрыскивания топлива 200 м/с; при

этом температура в камере принимает значение 2330 К. Для гептана и тетрадекана значение эффективной скорости равно 250 м/с. Температуры в камере сгорания соответственно равны 1305К и 2020К. Для гептана наблюдается линейная зависимость максимальной температуры газа в камере сгорания и концентрации образующегося в результате горения топлива углекислого газа от скорости впрыскиваемых капель.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Askarova A., Heierle Y., Leithner R., Müller H. CFD Code FLOREAN for Industrial Boilers Simulations // WSEAS Transactions on heat and mass transfer, 2009. – Vol. 4, Issue 4. – P. 98-107.
- [2] Leithner R., Müller H., Askarova A., Lavrichsheva Ye., Magda A. Combustion of low-rank coals in furnaces of Kazakhstan coal-firing power plants // VDI Berichte, 2007. – Issue 1988. – P. 497-502.
- [3] Amsden A.A., O'Rourke P.J., Butler T.D. KIVA-II: A computer program for chemically reactive flows with sprays. – Los Alamos, 1989. – 160 p.
- [4] Gorokhovski M., Borghi R. Model of soot formation and oxidation in diesel engines // Journal of diesels, Transactions of SAE. – 1993. – Vol. 930075. – P. 3-15.
- [5] Gorokhovski M.A. The stochastic Lagrangian model of drop breakup in the computation of liquid spray // J. Atomization and Sprays. – 2001. – Vol.11. – P. 505-519.
- [6] Saveliev V. L. Analyses of Kolmogorov's model of breakup and its application into Lagrangian computation of liquid sprays under air-blast atomization // J. Physics of fluids. – 2003. – Vol.15, № 1.– P. 184-192.
- [7] Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova Symbat, Berezovskaya I., Ospanova Sh. et al. Numerical Simulation of the Oxidant's Temperature and Influence on the Liquid Fuel Combustion Processes at High Pressures // Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2015. - Vol. 10, №4. - P. 90-95.
- [8] Askarova A.S., Gorokhovski M.A., Chtab-Desportes A., Voloshina I. Stochastic simulation of the spray formation assisted by a high pressure // 6-th International Symposium on Multiphase Flow, Heat Mass Transfer and Energy Conversion. Book Series: AIP Conference Proceedings, 2010. – Vol. 1207. – P.66-73.
- [9] Askarova A.S., Bolegenova S.A., Berezovskaya I.E., Ospanova Sh., etc. Numerical simulation of the influence of the atomization velocity on the liquid hydrocarbon fuel's combustion // Proceedings of the 2013 International conference on Applied Mathematics and Computational Methods in engineering. – Rhodes Islands, Greece, 2013. – P. 155-158.
- [10] Messerle V.E., Ustimenko A.B., Askarova A.S., Karpenko E.I. Plasma enhancement of combustion of solid fuels // High Energy Chemistry, 2006. – Vol.40, Issue 2. – P.111-118.
- [11] Askarova A.S., Messerle V.E., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma enhancement of coal dust combustion // 35-th EPS Conference on Plasma Physics. – Hersonissos, 2008. – ECA. – Vol.32. – P.148-152.
- [12] Bekmukhamet A., Bolegenova S.A., Askarova A.S., Beketayeva M.T., Maximov V., Ospanova Sh.S., Gabitova Z.K. Numerical modeling of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ-420-140-7c combustion chamber // International Journal of Mechanics, 2014. – Vol.8. – P.112-122.
- [13] Askarova A., Bekmukhamet A., Maximov V., Beketayeva M. Numerical experimenting of combustion in the real boiler of CHP // International Journal of Mechanics, 2013. – Vol. 7, Issue 3. – P. 343-352.
- [14] Bolegenova S.A., Askarova A.S., Messerle V.E., Maksimov V.Yu., Gabitova Z. Numerical simulation of pulverized coal combustion in a power boiler furnace // Journal of High Temperature, 2015. – Vol.53, Issue 3. – P.445-452.
- [15] Ustimenko A.B., Askarova A.S., Messerle V.E., Nagibin A. Pulverized coal torch combustion in a furnace with plasma-coal system // Journal of Thermophysics and Aeromechanics. – Vol.7, Issue3, 2010. – P.435-444.

REFERENCES

- [1] Askarova A., Heierle Y., Leithner R., Müller H. CFD Code FLOREAN for Industrial Boilers Simulations // WSEAS Transactions on heat and mass transfer, **2009**. Vol. 4, Issue 4. P. 98-107.
- [2] Leithner R., Müller H., Askarova A., Lavrichsheva Ye., Magda A. Combustion of low-rank coals in furnaces of Kazakhstan coal-firing power plants // VDI Berichte, 2007. Issue **1988**. P. 497-502.
- [3] Amsden A.A., O'Rourke P.J., Butler T.D. KIVA-II: A computer program for chemically reactive flows with sprays. Los Alamos, **1989**. 160 p.
- [4] Gorokhovski M., Borghi R. Model of soot formation and oxidation in diesel engines // Journal of diesels, Transactions of SAE. **1993**. Vol. 930075. P. 3-15.
- [5] Gorokhovski M.A. The stochastic Lagrangian model of drop breakup in the computation of liquid spray // J. Atomization and Sprays. **2001**. Vol.11. P. 505-519.
- [6] Saveliev V. L. Analyses of Kolmogorov's model of breakup and its application into Lagrangian computation of liquid sprays under air-blast atomization // J. Physics of fluids. **2003**. Vol.15, № 1. P. 184-192.
- [7] Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova Symbat, Berezovskaya I., Ospanova Sh. et al. Numerical Simulation of the Oxidant's Temperature and Influence on the Liquid Fuel Combustion Processes at High Pressures // Journal of Engineering and Applied Sciences. **2015**. Vol. 10, №4. P. 90-95.
- [8] Askarova A.S., Gorokhovski M.A., Chtab-Desportes A., Voloshina I. Stochastic simulation of the spray formation assisted by a high pressure // 6-th International Symposium on Multiphase Flow, Heat Mass Transfer and Energy Conversion. Book Series: AIP Conference Proceedings, **2010**. Vol. 1207. P.66-73.

- [9] Askarova A.S., Bolegenova S.A., Berezovskaya I.E., Ospanova Sh., etc. Numerical simulation of the influence of the atomization velocity on the liquid hydrocarbon fuel's combustion // Proceedings of the 2013 International conference on Applied Mathematics and Computational Methods in engineering. Rhodes Islands, Greece, **2013**. P. 155-158.
- [10] Messerle V.E., Ustimenko A.B., Askarova A.S., Karpenko E.I. Plasma enhancement of combustion of solid fuels // High Energy Chemistry, **2006**. Vol.40, Issue 2. P.111-118.
- [11] Askarova A.S., Messerle V.E., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma enhancement of coal dust combustion // 35-th EPS Conference on Plasma Physics. Hersonissos, **2008**. ECA. Vol.32. P.148-152.
- [12] Bekmukhamet A., Bolegenova S.A., Askarova A.S., Beketayeva M.T., Maximov V., OspanovaSh.S., Gabitova Z.K. Numerical modeling of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ-420-140-7c combustion chamber // International Journal of Mechanics, **2014**. Vol.8. P.112-122.
- [13] Askarova A., Bekmukhamet A., Maximov V., Beketayeva M. Numerical experimenting of combustion in the real boiler of CHP // International Journal of Mechanics, **2013**. Vol. 7, Issue 3. P. 343-352.
- [14] Bolegenova S.A., Askarova A.S., Messerle V.E., MaksimovV.Yu., Gabitova Z. Numerical simulation of pulverized coal combustion in a power boiler furnace // Journal of High Temperature, **2015**. Vol.53, Issue 3. P.445-452.
- [15] Ustimenko A.B., Askarova A.S., Messerle V.E., Nagibin A. Pulverized coal torch combustion in a furnace with plasma-coal system // Journal of Thermophysics and Aeromechanics. Vol.7, Issue3, **2010**. P.435-444.

ӘР ТҮРЛІ СҰЙЫҚ ОТЫНДАРДЫҢ БҮРКУ, ТҮТАНУ ЖӘНЕ ЖАНУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Ә. Асқарова¹, С. Бөлегенова¹, М. Гороховский²,
Ш. Оспанова¹, А. Нұғыманова¹, С. Утелов¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

²Орталық Лион университеті, Лион қаласы, Франция

Түйін сөздер: сандық модельдеу, жану камерасы, бензин, гептан, тетрадекан.

Аннотация. Берілген мақалада жану камерасындағы бүрку жылдамдығына қатысты әр түрлі сұйық отындардың бүрку және жану процестерін сандық модельдеу нәтижелері келтірілген. Турбулентті әсерлесетін ағыстарды сипаттайтын дифференциалдық теңдеулерді шешу негізінде сұйық отындардың бастапқы бүрку жылдамдықтарына қатысты жану процестеріне зерттеу жүргізілген. Бензин, гептан мен тетрадеканның тиімді параметрлері анықталған. Бастапқы тиімді бүрку жылдамдығына қатысты температуралық алаудың биіктігінің таралуы, тамшылардың радиус бойынша таралуы, температура өрістері мен отын буының таралуы алынды.

Поступила 15.03.2016 г.

МАЗМҰНЫ

Теориялық және тәжірибелік зерттеулер

<i>Буртебаев Н., Дүйсебаев А., Керимкулов Ж.К., Алимов Д.К., Юшков А.В., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Сакута С.Б.</i> 50 және 60 МэВ энергиялы ^3He иондарының ^{14}N ядроларынан серпімді шашырауын зерттеу.....	5
<i>Алтынбеков Ш.</i> Өртекті топырақ консолидациясының бірөлшемді квазисызықты есебін напордың бастапқы градиенті әсерінде шешу әдісі туралы және оның шөгуді анықтау.....	10
<i>Асқарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б., Габитова З.Х., Боранбаева А.Е.</i> 3-D Модельдеу әдістерімен жану процесіне көмірдің ылғалдылығының зиянын зерттеу.....	21
<i>Асқарова Ә.С., Болегенова С.Ә., Болегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> ЖЭС жану камерасында көмірдің жануы кезінде NO_x түзілуі мен жойылуын екі кинетикалық механизм бойынша сандық моделдеу.....	29
<i>Асқарова Ә.С., Болегенова С.Ә., Болегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Жану камерасының қабырға температурасы үшін берілген шекаралық шартының жану процесінің температуралық сипаттамаларына әсерін зерттеу.....	35
<i>Асқарова Ә., Болегенова С., Гороховский М., Оспанова Ш., Нұғьманова А., Утелов С.</i> Өр түрлі сұйық отындардың бүрку, тұтану және жану процестерін зерттеу	40
<i>Сапрыгина М.Б., Байсейтова У.С., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты есебінің тұрлаулы шешілуі туралы.....	48
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Демьянова А.С., Данилов А.Н., Джансейтов Д.М., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К.</i> Оптикалық және фолдинг модельдер АЯСЫНДА 50 және 60 МЭВ энергияларда ^3He иондарының ^{13}C ядроларында серпімді шашырау процесстерін зерттеу.....	55
<i>Жұмбаев Д.С., Бакирова Э.А.</i> Импульс әсері бар фредгольм интегралдық- дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты шеттік есептің бірімәнді шешілімділігінің коэффициенттік белгілері	61
<i>Өтебаев Ұ.Б., Есентаев Қ.Ө., Дархан Н.Д.</i> WEB -формалар құрудың технологиялары.....	72
<i>Жунусова Л.Х., Жунусов К.Х.</i> Тор теңдеулерінің итерациялық әдіспен шығару.....	79
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омаишова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Сүйерқұлова Ж.Н.</i> Еркін механикалық тербелістерді зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	84
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омаишова Г.Ш., Сүттібаева Д.И., Қозыбақова Г.Н.</i> Изобаралық процесті зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	92
<i>Қабылбеков К.А., Омаишова Г.Ш., Саидахметов П.А., Нұрұллаев М.А., Артыгалин Н.А.</i> Карно циклімен жұмыс атқаратын қозғалтқышты зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	98
<i>Түгелбаева Г.Т., Канибекова А. Е.</i> Білім негіздерін физика сабақтарына енгізу әдісін жүйелік талдау.....	104
<i>Қойишьева Т.К., Қожамқұлова Ж.Ж., Базарбаева А.И., Бегимбетова Х.А.</i> Объектіге-бағытталған жүйе болашақ маманның ақпараттық-логикалық құзыреттілігін қалыптастыру факторы ретінде.....	108
<i>Қойишьева Т.К., Байтерекова А.И., Салғараева М.И.</i> Болашақ мұғалімдерді кәсіби дайындауда қолданылатын объектілі-бағдарлы жобалаудың теориялық негіздері.....	116
<i>Литвиненко Н.</i> Бағдарламалық R ортаның C# ортасына біріктірілуі.....	123
<i>Мақышов С.</i> Тұрақты м-туындаған сандар.....	128
<i>Минглибаев М.Ж., Прокопья А.Н., Бекетауов Б.А.</i> Массалары айнымалы шектелген үш дене мәселесінің эволюциялық теңдеуінің нақты шешімдері.....	133
<i>Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Байбутанов Б.К., Ешметов М.Б., Ауесжанов Д.С.</i> Жазықтық-импульстік модуляция негізінде көпдеңгейлі инвертор сатыларының қосылу әдістемелерін зерттеу	139
<i>Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О., Байсейтова У.С.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты есебінің вөлтерлі болуының үзілді – кесілді шарты.....	147
<i>Сураган Д.</i> Шаттен р-нормасы үшін бір теңсіздік туралы	153
<i>Темирбеков Н.М., Тураров А.К.</i> Газлифт үрдісінің бір өлшемді моделінің сандық шешімі	159
<i>Ахметова С.Т., Шалданбаев А.Ш., Шомабаева М.Т.</i> Аргументі ауытқыған жылу теңдеуінің шекаралық коши-нейман есебіне сәйкес оператордың спектрінің құрамы туралы.....	169
<i>Шомабаева М.Т., Шалданбаев А.Ш., Ахметова С.Т.</i> Аргументі ауытқыған жылу теңдеуінің жарտалай бекітілген шекаралық есебіне сәйкес оператордың үзіксіз спектрі туралы	180
<i>Ұлағатты ұстаз туралы. Шерәлі Біләл.</i>	191