

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТЫҚ ФЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# ХАБАРЛАРЫ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ

◆  
СЕРИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

◆  
SERIES  
OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL

5 (285)

ҚЫРКҮЙЕК-ҚАЗАН 2012 ж.  
СЕНТЯБРЬ-ОКТЯБРЬ 2012 г.  
SEPTEMBER – OCTOBER 2012

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

Бас редактор  
ҚР ҮФА академигі  
**Б. Т. Жұмагұлов**

Редакция алқасы:

физика-математика ғылымдарының докторы **Н. М. Темірбеков** (бас редактордың орынбасары), ҚР ҮФА-ның академиктері **Н. Ж. Тәкібаев, С. Н. Харин, Т. Ш. Калменов, Н. К. Блиев, Б. Н. Мұкашев, М. О. Отелбаев**, физика-математика ғылымдарының докторы **К. К. Қадыржанов**, физика-математика ғылымдарының докторы **Н. Т. Данәев**, физика-математика ғылымдарының докторы **Т. С. Рамазанов**, физика-математика ғылымдарының докторы **Ө. Ө. Өмірбаев**, химия ғылымдарының докторы **Н. Бейсен** (жауапты хатшы)

Главный редактор  
академик НАН РК  
**Б. Т. Жумагулов**

Редакционная коллегия:

доктор физико-математических наук **Н. М. Темирбеков** (заместитель главного редактора), академики НАН РК **Н. Ж. Такибаев, С. Н. Харин, Т. Ш. Кальменов, Н. К. Блиев, Б. Н. Мұкашев, М. О. Отелбаев**, доктор физико-математических наук **К. К. Қадыржанов**, доктор физико-математических наук **Н. Т. Данәев**, доктор физико-математических наук **Т. С. Рамазанов**, доктор физико-математических наук **У. У. Умирбаев**, доктор химических наук **Н. Бейсен** (ответственный секретарь)

Editor-in-chief  
academician of the NAS of the RK  
**B. T. Zhumagulov**

Editorial staff:

doctor of physical and mathematical sciences N.M. Temirbekov (deputy editor-in-chief), academicians of the NAS of the RK N. Zh. Takibayev, S. N. Harin, T. Sh. Kalmenov, N. K. Bliev, B. N. Mukashev, M. O. Otelbaev, doctor of physical and mathematical sciences K. K. Kadirzhanov, doctor of physical and mathematical sciences N. T. Danaev, doctor of physical and mathematical sciences T. S. Ramazanov, doctor of physical and mathematical sciences U. U. Umirbaev, doctor of chemical sciences N. Beysen (secretary)

**«Известия НАН РК. Серия физико-математическая» I ISSN 1991-346X**

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 218–220, тел.: 272-13-19, 272-13-18.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

# Физика плазмы, газов и жидкостей

УДК 536.46:532.517.4

A. С. АСКАРОВА, С. А. БОЛЕГЕНОВА, В. Ю. МАКСИМОВ,  
А. БЕКМУХАМЕТ, М. Т. БЕКЕТАЕВА, Ш. С. ОСПАНОВА

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИСПЕРСИИ И ГОРЕНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

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

*Исследовано процессы дисперсии и горения впрысков жидкого топлива для оптимальных параметров сжигания жидкого топлива при наличии турбулентности и с учетом образования и окисления сажи в камере сгорания методами математического моделирования.*

Моделирование образования дисперсии неизотермических впрысков жидкого топлива в развитой турбулентности является актуальным в связи с широким использованием распыленного жидкого топлива (автомобильного, авиационного, дизельного и ракетного) в различных двигателях.

Горение жидкого топлива 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.

Ниже приведены результаты численного моделирования по горению впрысков жидкого топлива для оптимальных масс и скоростей впрыска и температуры газа в камере сгорания. Рис. 5 показывает дисперсию и распределение температур капель для трех топлив в камере сгорания при оптимальных массах и скоростях впрыска и температурах газа. На рис. 1–4 приведены графики изменения со временем (1,1 мс, 1,8 мс, 3 мс, 4 мс) температуры и концентрации паров топлива в камере сгорания при сжигании бензина. Данные получены для оптимальных параметров этого вида топлива [1, 2].

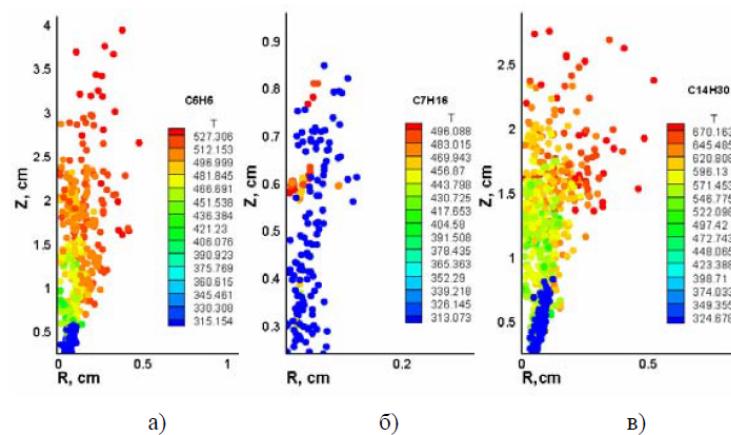
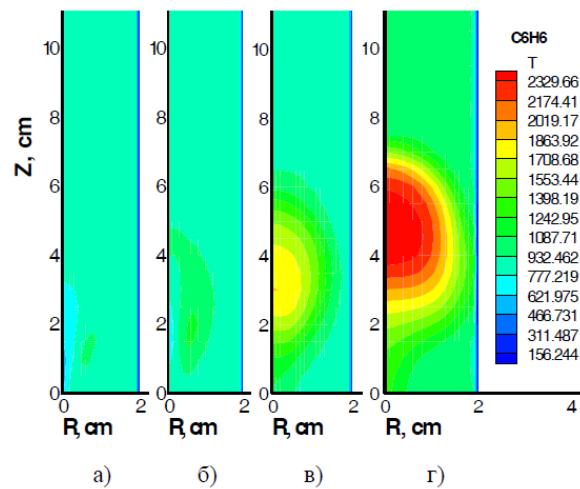


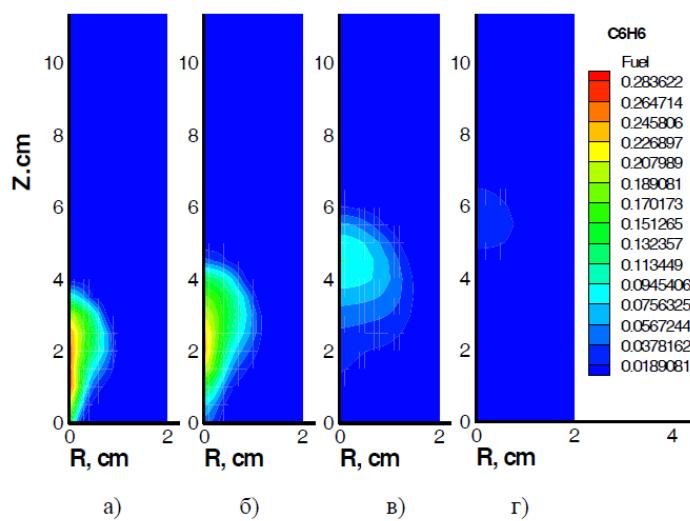
Рис. 1. Капли жидкого топлива при оптимальных параметрах:  
а) бензин, б) гептан, в) тетрадекан



**Рис. 2.** Температура в камере сгорания при горении бензина в моменты времени:  
а) 1,1 мс; б) 1,8 мс; в) 3 мс; г) 4 мс

Анализ рис. 2 показывает изменение температуры в камере сгорания для бензина. Можно заметить, что область максимальных температур (ядро факела) достигает 6,5 см по высоте камеры сгорания, вся остальная часть камеры разогревается до 1300 К.

На следующем рис. 3 можно наблюдать, как меняется концентрация паров бензина с течением времени: от максимального значения в области до 4 см по высоте камеры сгорания до нуля в конечный момент времени.



**Рис. 3.** Распределение паров топлива в камере сгорания при горении бензина  
в моменты времени: а) 1,1 мс; б) 1,8 мс; в) 3 мс; г) 4 мс

На рис. 4–7 приведены результаты численных экспериментов по горению гептана и тетрадекана. Результаты для этих топлив аналогичны результатам для бензина в качественном отношении, различаясь количественно. Анализ рисунка 4 показывает, что максимальная температура в камере сгорания при горении гептана равна 1300 К в момент времени 4 мс. Остальная часть камеры сохраняет первоначальное значение температуры 900 К.

На рис. 5 представлено распределение паров гептана в различные моменты времени. В конечный момент времени для оптимальных параметров концентрация топлива в камере сгорания практически равна нулю.

На рис. 6, 7 представлены результаты численного моделирования горения тетрадекана для оптимальной массы и скорости впрыска тетрадекана и начальной температуры в камере сгорания. Анализ рис. 6 показывает, что наибольшее значение, до которого прогревается камера сгорания, равно 2022 К, при этом температурный факел расположен выше, чем для гептана (рис. 4). В камере температура в конечный момент времени 4 мс равна 1200 К.

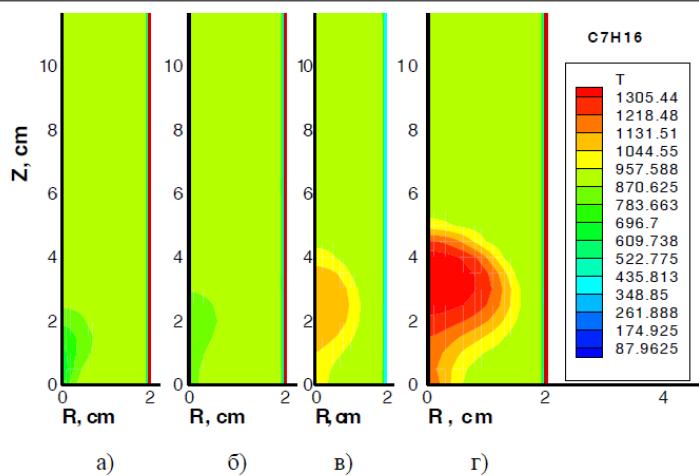


Рис. 4. Температура в камере сгорания при горении гептана в моменты времени:  
а) 1,1 мс; б) 1,8 мс; в) 3 мс; г) 4 мс

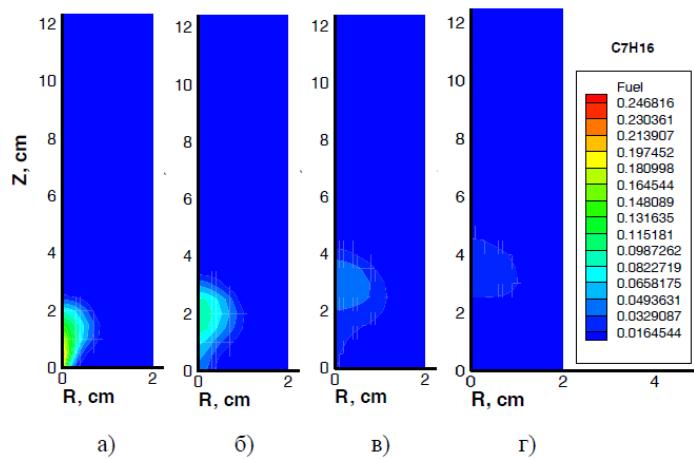


Рис. 5. Распределение паров топлива в камере сгорания при горении гептана в моменты времени:  
а) 1,1 мс; б) 1,8 мс; в) 3 мс; г) 4 мс

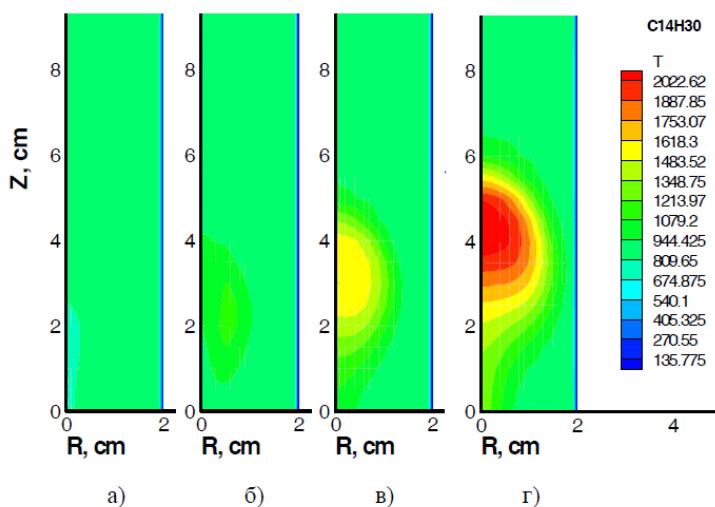


Рис. 6. Температура в камере сгорания при горении тетрадекана в  
моменты времени: а) 1,1 мс; б) 1,8 мс; в) 3 мс; г) 4 мс

Из рис. 7 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<sub>2</sub> и вода H<sub>2</sub>O.

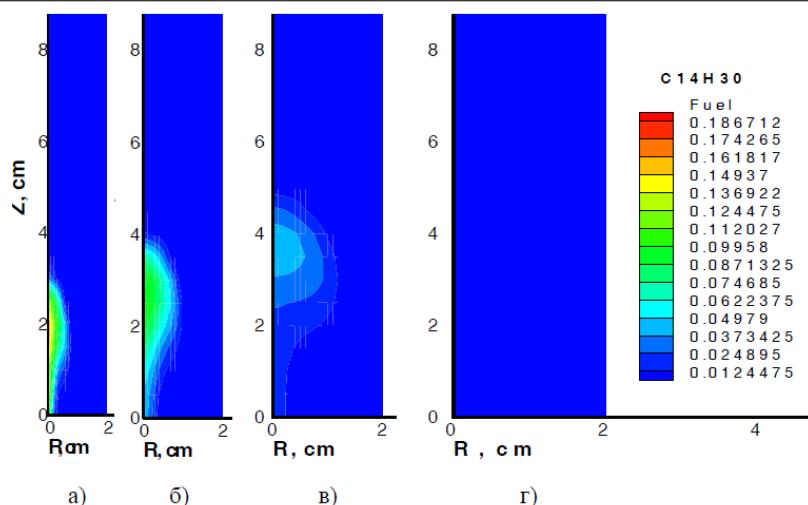


Рис. 7. Распределение паров топлива в камере сгорания при горении тетрадекана в моменты времени: а) 1,1 мс; б) 1,8 мс; в) 3 мс; г) 4 мс

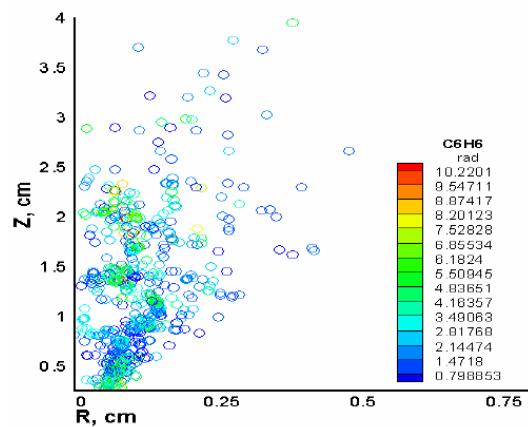


Рис. 8. Распределение капель бензина по радиусам в камере сгорания

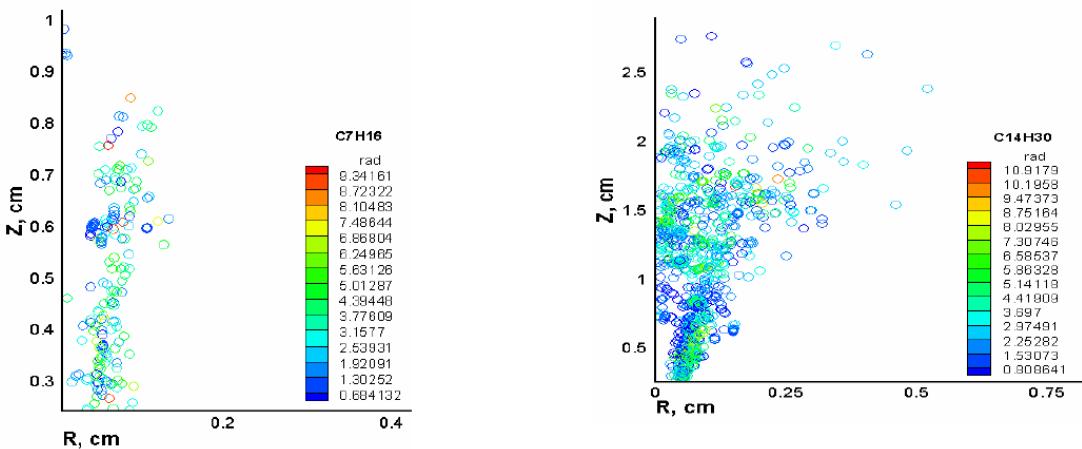


Рис. 9. Распределение капель гептана по радиусам

Рис. 10. Распределение капель тетрадекана по радиусам

Результаты численного моделирования, приведенные на рис. 8–10 показывают распределение и значения радиусов капель жидкого топлива в камере сгорания. При впрыскивании все капли имеют один радиус, но затем капли испаряются, сталкиваются и сливаются, соответственно, их радиусы принимают различные значения. Значения радиусов показаны в микронах, при впрыскивании капель бензина (рис. 8) и тетрадекана (рис. 10), радиусы жидкого вещества достигают 10 микрон, для гептана

максимальный радиус частиц составляет 9,3 микрона (рис. 9). Согласно рисункам 8–10 капель с большим радиусом образуется очень мало, и основная масса капель имеет радиус порядка от 2 до 6 микрон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ярин, Л.П., Сухов, Г.С. Основы теории горения двухфазных сред. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 240 с.
2. Аскарова, А.С., Горюховски, М.А., Локтионова, И.В., Рыспаева, М.Ж. Горение жидкого топлива в камере сгорания // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2006. – № 3. – С. 15-20.

*A. С. Аскарова, С. А. Болегенова, В. Ю. Максимов,  
А. Бекмұхамет, М. Т. Бекетаева, Ш. С. Оспанова*

#### САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ ҮДЕРІСТЕРІНІҢ ДИСПЕРСИЯСЫ ЖӘНЕ СҮЙЫҚ ОТЫННЫҢ ЖАНУЫ

Сүйық отын бүркүлерінің дисперсиясын және жану үдерістерінің ен жаксы параметрлер үшін турбуленттіліктің және күйенің пайда болуын жану камерасында математикалық үлгілеу әдісімен зерттелген.

*A. S. Askarova, S. A. Bolegenova, V. Yu. Maximov,  
A. Bekmukhamet, M. T. Beketaeva, Sh. S. Ospanova*

#### NUMERICAL STUDY OF DISPERSION AND BURNING OF LIQUID FUEL

Of soot in the burner chamber by means of the methods of mathematical modeling The research of the processes of dispersion and combustion of liquid fuel sprays at optimal conditions of the liquid fuel combustion at the presence of turbulence and with the account of the formation and oxidation.