

The Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan
al-Farabi Kazakh National University
The Institute of Combustion Problems

Программа и научные материалы VI МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА

August, 24-26,
2011

посвященного
памяти
академиков

Н.Н.Семенова и
Я.Б.Зельдовича



Жану проблемаларының институты

COMBUSTION & PLASMOCHEMISTRY

ГОРЕНИЕ и ПЛАЗМОХИМИЯ

Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan
al-Farabi Kazakh National University
Institute of Combustion Problems

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті
Жану проблемаларының институты

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Казахский национальный университет им. аль-Фараби
Институт проблем горения



**VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM
“COMBUSTION & PLASMOCHEMISTRY”
in memoriam of N.N. Semenov and Y.B. Zeldovich**

**VI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ СИМПОЗИУМ
“ЖАНУ және ПЛАЗМОХИМИЯ”
Академиктер Семенов пен Я.Б. Зельдовичты еске алуға арналған**

**VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«ГОРЕНИЕ И ПЛАЗМОХИМИЯ»,
посвященный памяти академиков Н.Н. Семенова и Я.Б. Зельдовича**

24-26 august
24-26 тамыз
24-26 августа

Алматы
«Қазақ университеті»
2011

Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского,
E-mail: dossumov50@mail.ru, dakekz@bk.ru

11 ⁰⁰ – 11 ³⁰	КОФЕ – БРЕЙК	15'
11 ³⁰ – 11 ⁴⁵	<u>О.Г. Витушкина, Л.Н. Чухломина</u> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПРИРОДНОГО ОКСИДНОГО СЫРЬЯ Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН 634021, г. Томск, пр-т Академический 10/3, e-mail: olchik4@yandex.ru	15
11 ⁴⁵ – 12 ⁰⁰	<u>Д.С. Абдулкаримова, З.А. Мансуров, О.Одавара*, С.М. Фоменко, А.Н. Алипбаев</u> ОБРАЗОВАНИЕ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ Al₂O₃ ПРИ СВ-СИНТЕЗЕ В СИСТЕМЕ Al-B₂O₃-Cr₂O₃ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, e-mail: Abd.danara@mail.ru *Tokyo Institute of Technology, Токио, Япония	15
12 ⁰⁰ – 12 ¹⁵	<u>К. Досумов, А.К. Умбеткалиев, Г.Е. Ергазиева, Л.В. Комашко</u> РОЛЬ НОСИТЕЛЯ И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ БЕНЗОЛА В МАЛЕИНОВЫЙ АНГИДРИД Институт органического катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Республика Казахстан, город Алматы, улица Кунаева 142, ergazieva_g@mail.ru	15
12 ¹⁵ – 12 ³⁰	<u>Е.К. Беляев, А.Ж. Найманова, А. Калтаев</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, ул. Масанчи 39/47, лаб. 225, Yerzhan.Belyaev@kaznu.kz , Aidarkhan.Kaltayev@kaznu.kz Институт Математики Министерство образования и науки Республики Казахстан, ул. Пушкина 125, ked@math.kz	16
12 ³⁰ – 12 ⁴⁵	<u>В.М. Кислов, Е.Н. Пилипенко</u> КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ СЛОЙ ЧАСТИЦ Учреждение Российской академии наук Институт проблем химической физики РАН 142432, РФ, г. Черноголовка, пр. Академика Семенова, д. 1, vmkisllov@icp.ac.ru	16
12 ⁴⁵ – 13 ⁰⁰	<u>Н.Г. Приходько, Б.Т. Лесбаев, Д.И. Ченчик, М.Нажипкызы, З.А. Мансуров</u> ВЫХОД ФУЛЛЕРЕНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АЦЕТИЛЕН-КИСЛОРОДНОГО ПЛАМЕНИ НА БЕНЗОЛ-КИСЛОРОД-АРГОННОЕ ПЛАМЯ Институт проблем горения, Казахстан, Алматы, 050012, ул. Богенбай батыра, 172 E-mail: nik99951@mail.ru	16
13 ⁰⁰	Стендовые доклады	
14 ⁰⁰ – 15 ⁰⁰	ОБЕД	1'
	Вечернее заседание	1'
	Малахитовый зал Химического факультета КазНУ им. аль-Фараби	

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«Горение и плазмохимия»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В
СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ

Е.К. Беляев¹, А.Ж. Найманова², А. Калтаев¹

1 – Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, механико-математический факультет, кафедра механики, ул. Масаңчи 39/47, лаб. 225, Yerzhan.Belyaev@kaznu.kz, Aidarkhan.Kaltayev@kaznu.kz

2 – Институт Математики Министерство образования и науки Республики Казахстан, ул. Пушкина 125, ked@math.kz

Численно исследуется горение водорода в сверхзвуковом потоке воздуха. Кинетика химических реакций горения предварительно не перемешанной водородно-воздушной смеси описывается моделью Спарка.

Процессы реагирования сверхзвуковых потоков с вдуваемой в поток струей имеют место в задачах ракетной и космической техники, в частности в задачах моделирования процессов горения в реактивных двигателях. Так как поток воздуха является сверхзвуковым, топливо в камере сгорания остается очень короткое время (около 1 мс). В течение данного короткого периода времени топливо должно перемешаться с воздухом на молекулярном уровне и реакция должна завершиться до покидания двигателя. Детальное исследование данного процесса требует рассмотрения таких параметров, как полнота сгорания, время зажигания и затухания, время задержки воспламенения, параметр избытка или недостатка топлива, параметр эффективного смещения топлива с окислителем.

В данной работе рассматривается плоское сверхзвуковое турбулентное течение многокомпонентного реагирующего газа, при наличии поперечного вдува водорода с нижней и верхней стенок канала. Для удобства вычисления рассматривается вдув струи только с нижней стенки. Схема течения показана на рисунке 1.

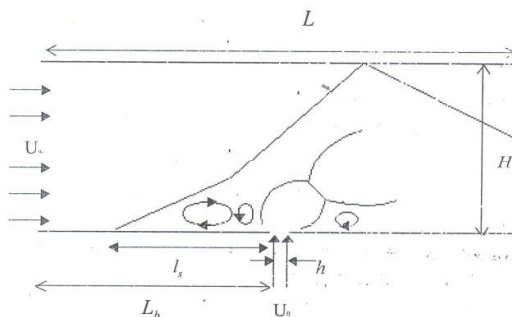


Рисунок 1 – Схема течения

Математическая модель сверхзвукового потока воздуха с поперечным вдувом водорода в плоском канале описывается системой двумерных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса для многокомпонентной газовой смеси [1]. Турбулентность описывается алгебраической моделью Болдуина-Ломакса. Давление определяется уравнением состояния смеси совершенных газов. Удельная энтальпия смеси, которая входит в уравнение для полной энергии вычисляется с помощью удельной энтальпии k-ой компоненты. Молярные удельные теплоемкости при постоянном давлении для каждой компоненты, входящие в формулу удельной энтальпии k-ой компоненты определяются по экспериментальным

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «Горение и плазмохимия»

данным при помощи полиномиальной интерполяции четвертого порядка по температуре, где численные значения эмпирических констант взяты из таблицы JANAF [2].

Начальные и граничные условия следующие: на входе ставятся параметры основного сверхзвукового потока, на нижней стенке берется условие прилипания и адиабатической (а также, постоянной) стенки, на верхней границе ставится условие симметрии, на выходе берутся граничные условия неотражения [1].

Кинетика окисления водорода описывается с помощью модели Спарка с семью реакциями и с семью компонентами [3]. Механизм окисления водорода носит цепной характер, что является следствием зарождения в области смешения струи и потока активных центров – атомов и радикалов (H , O , OH) [3]. Дальнейшая диссоциация молекулярных компонентов смеси, а также обменные реакции приводят к накоплению активных центров. Поскольку реакций инициирования и обменные реакции эндотермичны, эта стадия окисления водорода проходит без значительного выделения тепла, что говорит о наличии периода индукции, характеризующегося постоянством температуры гомогенной смеси.

Система осредненных по Рейнольдсу, уравнений Навье-Стокса решается с использованием ENO-схемы третьего порядка точности. Система уравнений для массовых концентраций химических компонент вычисляется с помощью расщепления по физическим процессам: на первом шаге решается конвективный и диффузионный перенос с использованием ENO-схемы, на втором шаге матричное уравнение кинетических членов решается неявно. Основной проблемой численного решения уравнений с присутствием кинетического члена является жесткость данных дифференциальных уравнений. Под жесткостью понимается наличие в решении широкого диапазона временных масштабов. На рисунке 2 а) приведены время протекания различных химических реакций, на рисунке 2 б) приведены временные масштабы динамики жидкости и звука.

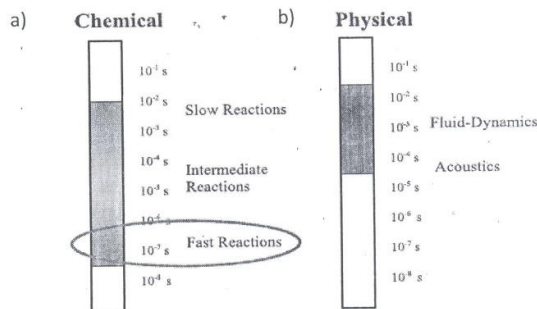


Рисунок 2 – Временные масштабы а) химический, б) физический

Предварительно была решена тестовая задача на разнесенной сетке размером 241×181 : через щель шириной 0,0559 см производится перпендикулярный вдув водорода $M_a = 1,1$, $T_0 = 400$ К, $p_0 = 1$ мПа в поток воздуха $M_\infty = 3$, $T_\infty = 1300$ К, $p_\infty = 0,25$ мПа в канале прямоугольного сечения. Высота канала 7,62 см, длина 15 см. Щель располагается на расстоянии 10 см от входного сечения. На рисунке 3 а) приведены результаты распространения концентраций водорода H_2 , кислорода O_2 и азота N_2 , на рисунке 3 б), с) представлены результаты образования компонент паров воды H_2O , гидроксильной группы OH , атомов водорода H и кислорода O .

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«Горение и плазохимия»

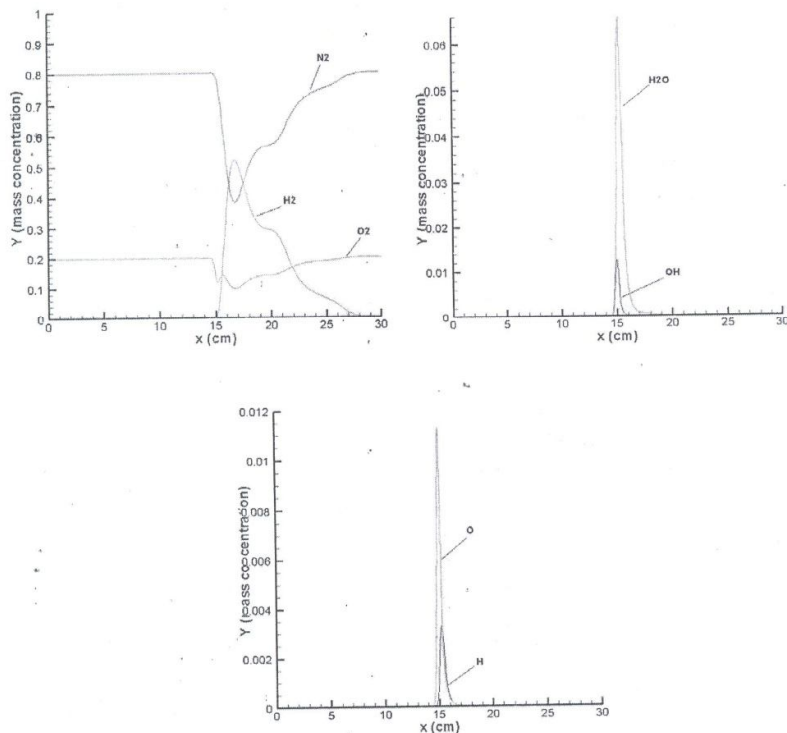


Рисунок 3 – Распределение концентрации а) H₂, O₂, N₂ б) H₂O, OH в) H, O

Литература

- 1 Beketaeva A.O., Naimanova A.Zh. Numerical simulation of a supersonic flow with transverse injection of jets // Journal of Applied Mechanics and Technical physics, 2004. Vol.45, №3. P.367-374.
- 2 Kee R.J., Rupley F.M., Miller J.A. CHEMKIN-II: a Fortran chemical kinetic package for the analysis of gas-phase chemical kinetics // SANDIA Report SAND89-8009. – 1989.
- 3 Yerzhan Belyaev, Aidarkhan Kaltayev and Altynshash Naimanova. Supersonic Flow with Perpendicular Injection of a Hydrogen. Proceedings of 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology. Chengdu, China. April 16-18, 2010, V5-531.

Abstract. Numerical investigation of hydrogen combustion in supersonic air flow is considered. Chemical kinetics of non premixed hydrogen-air mixture combustion is simulated by using Spurk's model.

УДК 541.053:546.669

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«Горение и плазмохимия»

СОДЕРЖАНИЕ

me

h.-

nal

ed.

ОРГКОМИТЕТ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ И НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ.....	4
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....	5
ПРОГРАММА ЗАСЕДАНИЙ СИМПОЗИУМА	
24 АВГУСТА.....	6
25 АВГУСТА.....	8
ПРИВЕТСТВИЯ.....	15

ПЛЕНАРНЫЕ, УСТНЫЕ И СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

1. ОБЩИЕ ЧЕРТЫ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ СТАДИЙНОГО САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ С БИФУРКАЦИЕЙ Г.И. Ксандопуло.....	19
2. ТВЕРДОПЛАМЕННОЕ ГОРЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ СИСТЕМ А.С. Рогачев.....	25
3. NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW PARTICLES PATHS AND THERMODYNAMIC PERFORMANCE ON CONTINUOUSLY ROTATING DETONATION ENGINES ZHOU Rui WANG Jian-Ping.....	27
4. DETAILED NUMERICAL MODELLING OF PAH FORMATION AND GROWTH IN PREMIXED AND NON-PREMIXED ETHYLENE FLAMES Nadezhda A. Slavinskaya.....	31
5. STUDY OF THE FLAME STRUCTURE, KINETICS AND MECHANISM OF CHEMICAL REACTIONS IN FLAME BY MOLECULAR BEAM MASS SPECTROMETRY AND COMPUTER MODELING O.P.Korobeinichev, A.G.Shmakov, A.A.Paletsky, D.A.Knyazkov, S.A.Yakimov, V.M.Shvartsberg, T.A.Bolshova, A.G.Tereshchenko, Jiuzhong Yangb, Fei Qi.....	40
6. ПЕРЕСТРОЙКА ТЕПЛОВОЙ СТРУКТУРЫ ВОЛНЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ Е.А. Салганский, В.М. Кислов, С.В. Глазов, М.В. Салганская, А.Ф. Жолудев.....	45
7. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ З.А. Мансуров.....	49
8. СВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУР РАЗМЯГЧЕНИЯ ПЕКА-СВЯЗУЮЩЕГО И	

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
«Горение и плазмохимия»

.63	ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ ПИРОЛИЗЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА В.Е. Мессерле, А.Б. Устименко.....	101
.66	20. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ Е.К. Беляев, А.Ж. Найманова, А. Крлтаев.....	107
.59	21. ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА КРЕМНИЯ В РЕЖИМЕ СВС НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ РАЗЛИЧНОЙ МОДИФИКАЦИИ Камунур Кастер, Ж.С.Ермекова, Р.Г.Абдулкаримова, З.А.Мансуров.....	110
.73	22. КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА МЕТАНА В ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ТОПЛИВНЫЕ СМЕСИ К. Досумов, С.А. Тунгатарова, Д.Б. Абдухальков, Т.С. Байжуманова, К. Касымкан.....	113
.77	23. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПРИРОДНОГО ОКСИДНОГО СЫРЬЯ О.Г. Витушкина, Л.Н. Чухломина.....	116
0	24. ОБРАЗОВАНИЕ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ Al_2O_3 ПРИ СВ-СИНТЕЗЕ В СИСТЕМЕ $Al-B_2O_3-Cr_2O_3$ Д.С.Абдулкаримова, З.А.Мансуров, О.Одавара*, С.М. Фоменко, А.Н.Алипбаев.....	118
.33	25. РОЛЬ НОСИТЕЛЯ И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ БЕНЗОЛА В МАЛЕЙНОВЫЙ АНГИДРИД К.Досумов, А.К.Умбеткалиев, Г.Е.Ергазиева, Л.В.Комашко.....	122
5	26. ИЗУЧЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИЙ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСИ В ТРУБЕ А.Ж. Бибосипов, А. Калтаев.....	124
8	27. КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ СЛОЙ ЧАСТИЦ В.М.Кислов, Е.Н. Пилипенко.....	127
3	28. ВЫХОД ФУЛЛЕРЕНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АЦЕТИЛЕН-КИСЛОРОДНОГО ПЛАМЕНИ НА БЕНЗОЛ-КИСЛОРОД-АРГОННОЕ ПЛАМЯ Н.Г.Приходько, Б.Т.Лесбаев, Д.И.Ченчик, М.Нажипкызы, З.А.Мансуров.....	131
3	29. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ СВС В СИСТЕМЕ FeTi-Si-C ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ О.К. Лепакова, М.А. Дюкарев, А.М. Шульпеков, Н.И. Радишевская, Н.И. Афанасьев.....	134
	30. USE OF RUBBER-OIL MIXTURE FOR PRODUCTION OF RUBBER-BITUMEN COMPOUNDS F.Austruy, Ye. Tileuberdi, Ye. Ongarbaev, Z. Mansurov	137