

# ТЕЗИСЫ



2

4. Fray C. I., Saxton R. G. *Chemistry of Cyclooctatetraene and its Derivatives*. London: Cambridge University Press, 1978. P. 492.
5. Шлибьев Т. Л., Яновский Л. С., Затинов Ф. М., Иванов В. Ф. Эндотермические топлива в рабочие тела силовых и энергетических установок. Казань: Казанский научный центр РАН, 1986. – 264 с.
6. Органическая химия. Стереохимия, углеводороды, галогенсодержащие соединения / Под ред. Дж. Ф. Стодирта. М.: Химия, 1991. Т. 1. – 730 с.
7. Кутателадзе С. С. Основы теории плазмосвета. М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

УДК 661.665.412

« SIGN HER

## ОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ГОРЕНИИ БОГАТЫХ ТОПЛИВОМ ПЛАМЕН

З. А. Мансуров<sup>1</sup>, М. Ауелханжылы<sup>1</sup>, Н. Славинская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем горения, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Institute for Combustion Technology, Stuttgart, Germany

Синтез углеродных наноматериалов, а именно фуллеренов, углеродных нанотрубок и графена приходится при испарении графита электрической дугой. Это достаточно дорогой метод – требуется чистый графит и электрическая энергия. Альтернативным методом является получение их в режиме горения в условиях сажеобразования.

Пламя можно рассматривать в качестве химического реактора по синтезу целевых продуктов. Основная особенность процессов на основе технологического горения заключается в том, что целевой продукт образуется в результате реакции горения, протекающей самопроизвольно при высоких температурах с большой скоростью без затрат энергии извне, т.е. за счет собственного тепловыделения. С развитием нанотехнологий возникают новые задачи по синтезу наноматериалов в режиме горения.

В статье представлены оригинальные результаты по разработке методов синтеза углеродных наноматериалов различного функционального назначения, которые были получены в Институте проблем горения:

- синтез фуллеренов в пламени;
- синтез углеродных нанотрубок в пламени;
- синтез сульфидофобной углеродной поверхности в пламени;
- синтез графенов в пламени;
- моделирование образования пятичленных ароматических углеводородов (ПЦАУ) ионной схемой сажеобразования.

Сажеобразование, характерное для богатых топливом пламен, имеет важное значение в связи с проблемами экологии, производства различных материалов в качестве наноматериалов [1]. В последнее время изучение механизма и кинетики сажеобразования активизировалось в связи с получением альтернативных топлив из растительного сырья. Важно знать общие закономерности превращения топлива до сажевых частиц независимо от вида молекулярного вида топлива. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по процессам сажеобразования и предложены различные феноменологические модели [1-3]. Несмотря на это, все еще остается много неизвестностей в механизме сажеобразования. Даже в



простых случаях, например, гомогенного пиролиза углеводородов, нет полного понимания процесса, поскольку он связан с большим количеством быстротекущих параллельных реакций, ведущих к образованию новой твердой фазы — частиц сажи (например, тример конверсии метана с молекулярной массой 16 а.е.м. в частицы сажи с молекулярной массой более  $10^6$  а.е.м. составляет  $10^4$ – $10^2$  с). Следует обратить внимание, что эти быстро протекающие реакции идут в потоке, т.е. при интенсивном переносе масс частиц с параллельным увеличением их молекулярной массы [4].

**Синтез фуллеренов в пламени.** Фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$  были идентифицированы в 1985 г. и получены в макроскопических количествах в 1990 г., в обоих случаях методом испарения графита дуговым разрядом [5]. В пламенах ионы фуллеренов были обнаружены в 1987 г. и в 1991 г.  $C_{60}$  и  $C_{70}$  были извлечены в значительных количествах из пламени спектроскопически идентифицированы. Ховард с сотрудниками получили значительные количества  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в предварительно перемешанных ламинарных сажеобразующих пламенах бензола и кислорода при низких давлениях [6].

Эти данные стали основанием для разработки альтернативного метода получения фуллеренов в режиме горения углеводородов. Исследования проводились при горении предварительно перемешивающего  $C_5H_8/O_2/Ar$  пламени для условий, соответствующих максимальному выводу фуллеренов. Обработка экспериментальных данных по определению выхода фуллерена  $C_{60}$  выявила преимущество кольцевого электрода по сравнению с электродом в виде иглы и показала, что наибольший выход фуллерена  $C_{60}$  (~15%) наблюдался при его расположении в средней части пламени ( $L = 4$  см) [7].

**Синтез углеродных нанотрубок в пламени.** Наиболее перспективным способом производства углеродных нанотрубок является пламенный метод. В случае использования пламени для синтеза углеродных наночастиц часть топлива расходуется на разогрев смеси, а часть используется как реагент, что делает данный метод более экономичным по сравнению с методами, основанными на использовании электричества, пиролиза углеводородов или дугового испарения графита.

В [8] представлены результаты исследования диффузионного пропан-кислородного плоского пламени, стабилизированного на турелке со встречными струями при атмосферном давлении. Два встречных потока образовывали плоское пламя. Пламя было окружено внешним потоком азота, поступающим из матриц горелок. Раствор катализатора ( $Fe(CO)_5$  или спиртовой раствор нитрата никеля) распылялся ультразвуковым распылителем и подавался через металлическое сопло в пламя со стороны топлива. Полученные продукты осаждались на стенках реактора и удалялись в ловушках с жидким азотом. Температура в реакторе измеряется термопарой, в пламени — пирометром Igon Ultimaх.

Из рис. 1 видно, что образцы содержат агломераты сажи, среди которых встречаются метиллические частицы. Обнаружено, что при определенных условиях эксперимента возможно образование хорошо упорядоченных жгутов углеродных нанотрубок диаметром 20–30 нм.

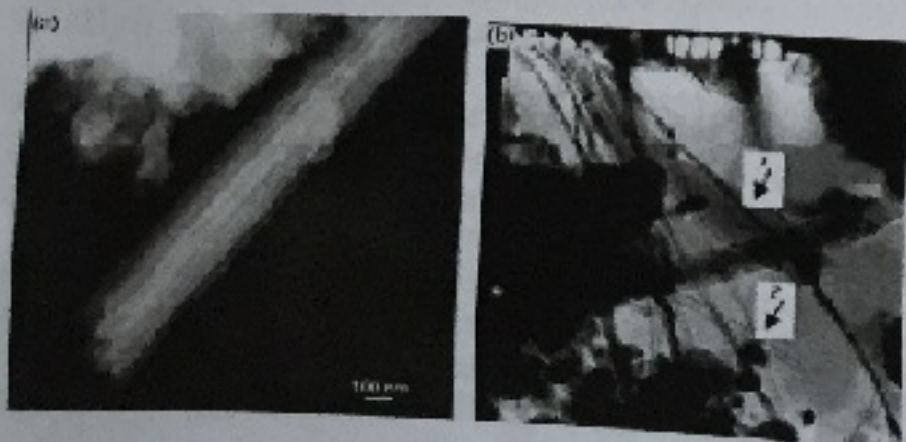


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки образца: 1 — углеродных нанотрубок, 2 — в углеродной оболочке [8].



**Синтез супергидрофобной углеродной поверхности в пламени.** Проведено экспериментальное исследование осаждения сажи на подложку из кремния и шакеля при горении пропан-кислородной смеси [9]. На рис. 2 показана фотография экспериментальной установки и капли жидкости на супергидрофобной поверхности.



Рис. 2. Фотография экспериментальной установки и капли жидкости на супергидрофобной поверхности [9]

Капля воды, нанесенная на диск, который находился в пламени в течение 4 мин, показал гидрофобность. Было обнаружено, что гидрофобность поверхности очень стабильная. Внешний угол контакта (рис. 2) лежит в диапазоне  $152,4\text{--}157,1^\circ$  для всех случаев. Аналогичные капли воды были нанесены на гидрофильную поверхность кремния, который имеет внешний угол контакта  $50,1^\circ$ .

Для выявления влияния воздействия электрического поля на гидрофобность или гидрофильность образующейся сажевой поверхности провели исследования с воздействием электрического поля. При наложении электрического поля получена сажка с углом смачивания  $>170^\circ$ .

**Синтез графенов в пламени.** Исследования образования слоистых графеновых пленок проводили в пропан-кислородном пламени при соотношении  $C/O = 0,86$ . Исследования проводили, как с добавкой аргона в бензол-кислородную смесь в количестве  $300\text{--}650\text{ см}^3/\text{мин}$ , так и без аргона. В качестве каталитических подложек применялись пластинки из меди и никеля, помещаемых в пламя. Варьировались диапазон времени нахождения подложки в пламени: 5, 10, 20, 30, 40, 60 с, 5 и 10 мин, варьировался угол наклона подложки относительно вертикальной оси пламени:  $\alpha = 0, 30, 45, 60, 85^\circ$ . Температура пламени при экспериментах находилась в интервале  $900\text{--}950^\circ\text{C}$ . Образованные на подложках образцы сажевых структур исследовались на Раман-спектрометре NTEGRA Spectra.

Установлено, что зона формирующихся графеновых слоев находится на границе начала формирования сажевых частиц. При наклоне подложки на некоторый угол относительно вертикальной оси, на стороне, расположенной ближе к стабилизатору, область формирования графенов перемещается вверх.

Исследования по оценке влияния времени нахождения подложки в пламени горелки на процесс формирования графенов показали, что с увеличением времени нахождения подложки в пламени от 5 до 60 с наблюдается тенденция формирования графеновых слоев с уменьшением степени неупорядоченности графитизированной структуры, что характеризуется появлением пика  $2D$  при  $2700\text{ см}^{-1}$  и с уменьшением интенсивности пика  $G$  при  $1351\text{ см}^{-1}$ .

Были проведены исследования по образованию графеновых слоев в пропан-кислородном пламени без добавления аргона на никелевой подложке при времени экспозиции 5 мин и угле наклона  $30^\circ$ . Установлено, что на никелевой подложке образуется 5–10 слоев графена ( $I_G/I_{2D} = 1,6\text{--}2,5$ ). Недостаток кислорода приводит к образованию сажи, при этом ПЦДУ являются зародышами сажевых слоев в бензол-кислородном пламени.

В работе [10] был исследован синтез графеновых слоев в бензол-кислородном пламени при низком давлении. Исследования показали, что формирование графеновых слоев происходит в предсажевой зоне, как и при атмосферном давлении. На рис. 3, а представлены Раман-спектры, характеризующие углеродные структуры, формирующиеся на никелевой



пластинке в зонах 0, 1, 2, 3 (рис. 3, б). В зонах 0, 1 и 2 наблюдается аморфная углеродная структура, а в зоне 3 синтезируются графитовые слои. При этом зона формирования графитовых слоев при низком давлении более расширена, чем при атмосферном давлении. В зоне 3 формируется сажевая структура (рис. 3, б).

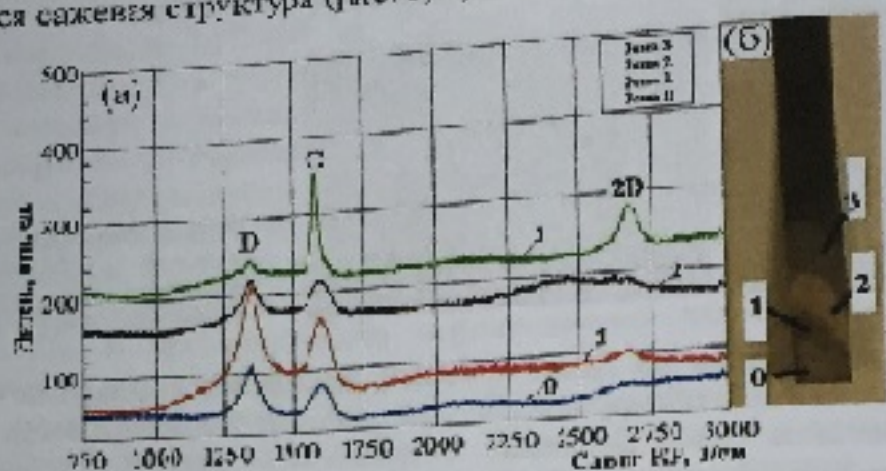


Рис. 3. Раман-спектры углеродных структур по зонам (а) и фотографии никелевой подложки (б) с указанием зон сформированных углеродных структур при низком давлении

**Моделирование образования ПЦАУ и полная схема сажеобразования.** Образование полициклических ароматических молекул в пламенах является ключевым моментом в процессе сажеобразования. Реакционные пути образования этих прекурсоров, в частности  $C_2H_2$ ,  $C_3H_2$ ,  $C_3H_4$ ,  $C_4H_2$ ,  $C_4H_4$ ,  $C_4H_6$ , зависят от вида топлива и параметров. Хотя образование полиароматических молекул и сажи в процессе горения интенсивно изучается, окончательная кинетическая схема еще не разработана. Дальнейшей оптимизации и уточнения кинетических параметров [11]. В работе [12] исследованы пламена ацетилена, утилена и пропана с целью установить особенности образования первого ароматического кольца (бензол,  $C_6H_6$ ) в пламенах насыщенных углеводородов ( $C_nH_{2n+2}$ ,  $C_nH_{2n}$ ) и ненасыщенных ( $C_nH_{2n}$ ,  $C_nH_{2n-2}$ ) углеводородов.

Исследование проведено на основе существующей детальной кинетической схемы описывающей образование полиароматики в пламенах метана, этилена и пропана. Используемый механизм был, прежде всего, валидирован на экспериментальных данных времени воспламенения ацетилена [13], этилена [14], пропана [14], характерных свойств горения  $C_2H_2$  [15],  $C_3H_4$  [16], и  $C_3H_6$  [17] в широком диапазоне параметров. Расчетные времена задержки воспламенения удовлетворительно согласуются с экспериментальными значениями.

Реакционные пути образования бензола в пламенах  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$  и  $C_3H_8$  показывают образование первого ароматического кольца-бензола происходит по аналогичным реакционным маршрутам по всем пламенам, после того как произошло разложение и наработка ароматических прекурсоров. При этом реакционные маршруты зависят от температуры. Для низких температур,  $T < 1500$  K, доминируют маршруты, включающие образование  $C_2H_2$  из  $C_2H_4$  и далее  $C_4H_2$ , который в реакции с  $C_2H_2$  дает бензол. При высоких температурах доминируют реакции образования пропантила и основной реакцией образования бензола является реакция образования пропантила [12].

Как известно, образование и синтез фуллеренов в традиционном методе испарения графита осуществляется при давлениях ниже 40 торр [18]. Как указано в [19], в асимметрических пилатетических разветвленных звездах в результате конденсации образуются нано- и субмикронные частицы. Проведены эксперименты при давлении 0,1–2,6 мбар со смесью с астрофизической атмосферой при температур



1700 К, в которых наблюдалось образование фуллеренов. Образование фуллеренов происходит при низких давлениях, и здесь важным является учет стерического фактора. Следует учесть, что образование такой изящной молекулы  $C_{60}$  требует определенной пространственной ориентации двух молекул  $C_{30}$ . Известны различные модели образования  $C_{60}$  фуллеренов, одна из которых осуществляется по зигзаг-механизму [20]. Необходимым условием такого механизма является низкие давления. С возрастанием давления, т. е. при переходе к атмосферному и выше, где преобладают тройные столкновения, происходит коагуляция ПЦАУ с образованием сажевых кластеров [21].

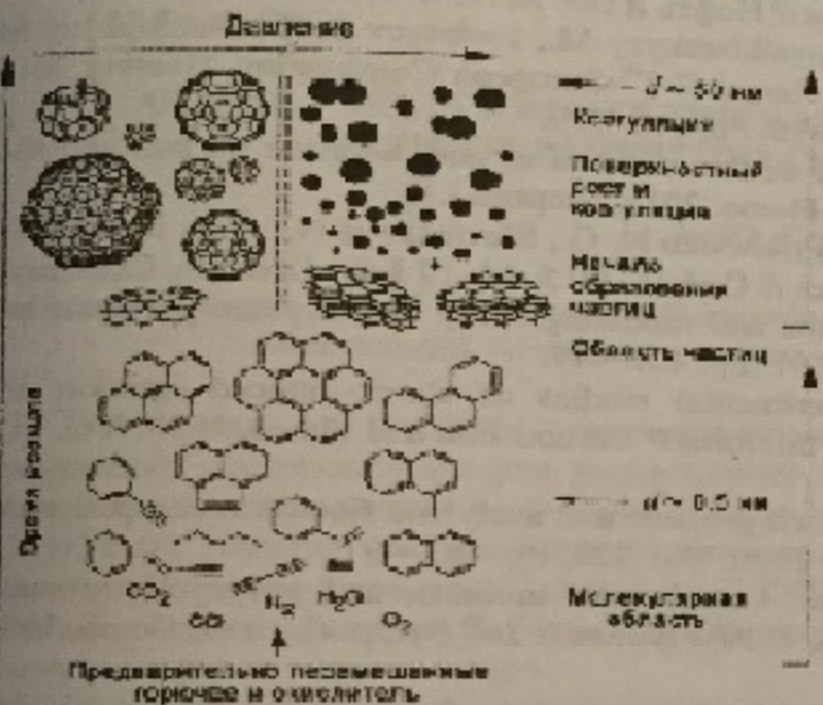


Рис. 4. Новая схема образования углеродных наночастиц при богатом углеродом топливе пламени

Ранее Векорном [22] была предложена общая схема реакции образования сажи в гомогенных смесях предварительно перемешанных пламених, где промежуточными продуктами являются ПЦАУ. С учетом новых данных ПЦАУ можно рассмотреть как основу образования фуллеренов и графенов в пламени, как предшественников образования сажевых частиц. На рис. 4 представлена схема образования частиц сажи, дополненная стадиями образования фуллеренов и графенов. Как показано на схеме, при низких давлениях образуются однослойные графены, а при атмосферном давлении — многослойные.

Разработана схема образования фуллеренов, графенов и сажи в богатых углеводородных пламенах с учетом давления. Показано, что синтез в пламени фуллеренов, графенов и углеродных нанотрубок представляет альтернативу технологиче существующих методов синтеза в электрической дуге из графита.

**Литература**

1. Тесвер П. А. Образование сажи при горении // ФГВ, 1979, Т. 15, № 2, С. 3-14.
2. Wagner H. G. Soot formation in combustion // 17 Symp. (Intern.) on Combustion. Pittsburgh: The Combustion Inst., 1979, Pp. 3-19.
3. Wang H. Formation of nascent soot and other condensed-phase materials in flames // Proceedings of the Combustion Institute, 2011, Vol. 33, Pp. 41-67.
4. Мансуров З. А. Сажеобразование в процессах горения // ФГВ, 2005, Т. 41, № 6, С. 137-156.
5. Kroto H. W., Heath J. R., O'Brien S. C., Curl R. F., and Smalley R. E. C60 Buckminsterfullerene // Nature, 1985, Vol. 318, No. 6042, Pp. 162-164.



6. Howard J.B. Fulerenes formation in flames // 24<sup>th</sup> Sympos. (Intern.) on Combustion, 1998. Vol. 24, No. 1. Pp. 933–946.
7. Мансуров З. А. Образование сажи полициклических ароматических углеводородов фуллеренов и углеродных нанотрубок при горении углеводорода // ИФЖ. 2011. Т. 84, № 5. С. 116–149.
8. Мансуров З. А. Получение наноматериалов в процессах горения // ФГВ. 2012. Т. № 5. С. 77–86.
9. Назипкызы М., Мансуров З. А., Пури И. К. и др. Получение супергидрофобной углеродной поверхности при горении пропана // Нефть и газ. 2010. Т. 5, № 59. С. 27–30.
10. Mansurov Z. A., Prikhodko N. G., Auyelkhanqyzy M., Lesbayev B. T., Nazhipkyzy M. Synthesis of single and few layer graphenes in flames // 7<sup>th</sup> European Combustion Meeting 2015, 30 March – 2 April 2015, Budapest, Hungary, 2015. Pp. 118–119.
11. Slavinskaya N. A. et al. Kinetic study of the effect of ethanol addition on PAH and soot formation in ethylene flames // Combustion and Flame. 2015. (impress).
12. Auyelkhanqyzy M., Mansurov Z. A., Prikhodko N. G., Slavinskaya N., et al. Mechanism of graphene and soot particles formation in flames // Carbon-2015. 15–17 July, Dresden, Germany.
13. Hidaka Y., Hattori K. et al. Shock-tube and modeling study of acetylene pyrolysis and oxidation // Combustion and Flame. 1996. Vol. 107. Pp. 401–417.
14. Brown C. J., Thomas G. O. Experimental studies of shock-induced ignition and transition to detonation in ethylene and propane mixtures // Combustion and Flame. 1999. Vol. 119. Pp. 861–870.
15. Lamprucht A., Atakan B., et al. Fuel-rich propene and acetylene flames: a comparison of their flame chemistries // Combustion and flame 2000. Vol. 122. Pp. 483–491.
16. Castaldi M. J., Marinov N. M., et al. Modeling of aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbon formation in premixed methane and ethane flames // 26<sup>th</sup> Symp. (Int.) on Comb. 1998. Vol. 26. Pp. 693–702.
17. Marinov N. M., Castaldi M. J., Melius C. F. Aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbon formation in a premixed propane flame // Comb. Sci. and Tech. 1997. Vol. 128. Pp. 295–341.
18. Krätschmer W., Lamb L., Fostiropoulos K., Huffman D. Solid C: a new form of carbon // Nature. 1990. Vol. 347. P. 354.
19. Jäger C., Huiskes F., Lamas J. L., Henning Th. Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Carbonaceous Solids in Gas Phase Condensation Experiments // Astrophys. J. 2009. No. 696. Pp. 706–712.
20. Ahrens J., Buchmann M., Baum Th., Griesheimer J., Kovacs R., Weilmünsterer Hornann K.-H // Int. J. Mass Spectrom. Ion Proc. 1994. Vol. 138. Pp. 133–148.
21. Mansurov Z. A. Soot formation. Almaty: Kazakh University, 2015. – 167 p.
22. Soot Formation in Combustion / Ed. Bockhorn H. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006. P. 596.



## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В РЕАГИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ

✓ Абаймов Н. А., Бурдуков А. П., Бутаков Е. Б., Осипов П. В., Рыжков А. Ф., Шестаков Н. С., Шурчалли А. А. Экспериментальная обработка методов получения синтез-газа в одно- и двухступенчатом газификаторах.....	3
Абдрахманов Р. Х., Бояршинов Б. Ф., Фёдоров С. Ю. Структура течения, границы режимов теплообмена и срыв пламени в пограничном слое за ребром и за уступом.....	7
Alhussain K. A., Mandrik P. A., Teterev A. V. Model of combustion products internal flow in channel with variable cross-section.....	11
✓ Алымов М. И., Сепларекский Б. С. Упрощенная модель процесса воспламенения пирофорных порошков.....	14
Ануфриев И. С., Бакланов А. М., Боровкова О. В., Копьев Е. П., Лешевич В. В., Шадрин Е. Ю., Шарыпов О. В. Исследование наночастиц сажи при сжигании дизельного топлива в присутствии перегретого водяного пара.....	18
Аршинов В. А., Бондирчук С. С., Жуков А. С. Метод расчета нестационарной скорости горения твердых топлив в рамках феноменологической теории.....	22
Ассад М. С., Грушевский В. В., Пенязьков О. Г., Тарасенко И. Н. Содержание полициклических ароматических углеводородов в продуктах сгорания при работе бензинового двигателя под нагрузкой.....	25
Ассад М. С., Пенязьков О. Г., Чернухо И. И. Влияние соотношения топливо-окислитель на скорость волны горения в теплано-воздушных смесях, обогащенных кислородом, в импульсной камере сгорания.....	27
Балабанов П. В. Теплоперенос в пластине хемосорбента на основе надпероксида калия при хемосорбции диоксида углерода.....	28
Барановский П. В., Кузнецов Г. В. Пространственная математическая модель зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным солнечным излучением.....	32
Богданова В. В., Кобец О. И. Механизм ингибирования горения природных и синтетических полимерных материалов.....	36
✓ Бородуля В. А., Рабинович О. С., Циценко А. Н., Иванов В. Е. Каталитический синтез многослойных углеродных нанотрубок в псевдоожидженном слое и их применение в композитных материалах.....	40
Быков Л. В., Ялышев Д. С. Математическая модель гидродинамики и теплообмена продуктов сгорания в полостях переменного объема.....	44
Васильев А. Ю., Захаров В. М., Челябин О. Г., Маслов В. П. Особенности подготовки керосино-воздушной смеси в камере сгорания газотурбинных двигателей с низкой эмиссией $NO_x$ .....	48
Васильев А. Ю., Лященко В. П., Челябин О. Г., Медведев Р. С. Использование гидравлических и аэродинамических особенностей элементов при создании малоэмиссионной камеры сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей.....	52
Вершинина К. Ю., Глушков Д. О., Стрижак П. А. Предельные температуры окислителя для устойчивого зажигания сульфидных органомоделльных топлив.....	55



Муравьев А. Г., Жданов А. С., Дунин В. Н. Тепломассообмен между парогазовой средой и каплями жидкости в полых аппаратах при наличии мгновенной химической реакции.....	141
Орловская С. Г., Шкорощако М. С., Шевченко Ю. Н. Высокотемпературный тепло-массообмен и окисление вольфрамовых проводников, нагреваемых электрическим током.....	145
Пашкевич Д., Алексеев Ю., Петров В., Мухомтов Д., Капустин В., Камбур П., Марков С., Ляскин Б. Получение фтористого водорода из его водного раствора, в том числе азотистого, путем высокотемпературного восстановления воды углеродом.....	149
Подлесный Д. Н., Зайченко А. Ю., Жирнов А. А., Жаворонков А. И., Вельковская И. И. Исследование устойчивости фронта фильтрационного горения бидисперсного твердого топлива в наклонном вращающемся реакторе.....	153
Решетников С. М., Зырянов Н. А., Позолотин А. П., Будин А. Г. Управление тягой гибридного ракетного двигателя электростатическим полем.....	155
Русак И. Г., Липанов А. М. Исследование сопряженного тепломассообмена при воспламенении в последующем нестационарном эрозивном горении порохов в уловителях, приближенных к условиям выстрела.....	158
Сеплярский Б. С., Кочетков Н. А. Закономерности горения системы Ni + Al при повышенном давлении окружающего газа.....	162
Сеплярский Б. С., Кочетков Р. А. Экспериментальное исследование закономерностей горения порошковых и гранулированных составов $Ti + xC$ ( $0.5 < x < 1$ ).....	165
Сеплярский Б. С., Кочетков Р. А. Экспериментальное исследование закономерностей горения порошковых и гранулированных составов $Ti + xC$ ( $0.5 < x < 1$ ) в потоке аргона и азота.....	169
Сеплярский Б. С., Кочетков Р. А. Грануляция — эффективный метод стабилизации скорости и режима горения в СВС процессах.....	173
Талако Г. Л., Дещко А. И., Рабинович О. С., Григорьева Г. Ф., Киселева Т. Ю. К вопросу о влиянии структурного состояния реакционной смеси после механической активации на процессы тепломассопереноса при горении порошковых систем.....	176
Трошенкин Б. А., Трошенкин В. Б. Тепломассообмен при производстве водорода в реакциях борогидрида натрия с водой.....	180
Федоров А. В., Троица Д. А. Пределы воспламенения силано-кислородных и силано-воздушных смесей.....	184
Филалов Н. М., Шерешковский Ю. В., Прокопов В. Г., Аленко С. А., Мерапова Н. О., Подольско Н. П. Процессы теплопереноса в горелочных устройствах с энтальпированным расположением стабилизаторов пламени.....	188
Хина Б. Б. К теории малоактивированного самораспространяющегося высокотемпературного азтисма: причины снижения эффективной энергии активации.....	192
Худякова Г. И., Осипов П. П., Рыжков А. Ф. Исследование динамики пыгорания коксов антрацита.....	195
Циценко А. И., Рабинович О. С., Кузнецов В. Л., Крашеников Д. В. Влияние теплоты реакции на качество углеродных нанотрубок при их каталитическом синтезе из газовой фазы в реакторе с несводожиженным слоем.....	199
Шабун С. И., Мартыненко В. В., Калнин В. И., Ал-Муса А. А. Роль тепловых процессов в каталитических реакторах для производства синтез-газа.....	202
Яновский Л. С. Тепломассообмен при течении в каналах синтетических углеводородов в условиях высоко температурного нагрева.....	203
Мансуров Л. А., Аделханкызы М., Славинская Н. Образование углеродных наночастиц при горении богатых топливом пламен.....	211