

# ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ

**Выпуск 4**

Под общей редакцией  
д.ф.-м.н. С. М. Фролова

ТОРУС  ПРЕСС  
МОСКВА 2011

**Редакционная комиссия**  
С. М. Фролов (председатель),  
А. А. Борисов, А. Г. Истратов, А. А. Сулимов, В. А. Тесёлкин

**ББК 24.54**  
**Г 67**  
**УДК 621.43:621.499:662.612.3**

**Г 67      Горение и взрыв.** Выпуск 4 / Под общей ред. д.ф.-м.н.  
С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. — 448 с.: ил.

ISBN 978-5-94588-097-9

В сборнике представлены краткие научные сообщения и материалы дискуссии «Методы управления процессами горения и взрыва» на научной конференции Отдела горения и взрыва Учреждения Российской академии наук Института химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН. Представленные научные работы связаны с такими направлениями фундаментальных исследований, как физика горения и взрыва, прикладная математика и газовая динамика, термодинамика, термохимия, нанотехнология, химическая технология, энергетика и др. Кроме того, в рубрике «Научная публицистика» опубликовано эссе академика А. Г. Мержанова «С мыслями об Академии...», в котором автор размышляет о конфликте между Российской академией наук и обществом.

Сборник рассчитан на научных работников, инженеров и аспирантов, занимающихся вопросами горения и взрыва и смежными проблемами, а также на студентов старших курсов технических вузов соответствующих специальностей.

**ББК 24.54**

ISBN 978-5-94588-097-9

© ТОРУС ПРЕСС, 2011

Книга выпущена при частичной финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
(грант 10-08-01702-э-г)

## Предисловие

В сборнике «Горение и взрыв» публикуются материалы ежегодной научной конференции отдела горения и взрыва Учреждения Российской академии наук Института химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (ИХФ РАН). Как и ранее [1–3], в конференции приняли участие не только сотрудники ИХФ РАН, но и специалисты из других российских научных центров, научно-производственных организаций и высших учебных заведений, а также из научных институтов Национальной академии наук Беларуси.

Все материалы, публикуемые в четвертом выпуске сборника, прошли через процедуру научного рецензирования и тщательно отредактированы редакционной комиссией. Содержание выпуска в полной мере отражает круг научных интересов отдела горения и взрыва ИХФ РАН. Материалы конференции сгруппированы в сборнике в виде частей, посвященных вопросам горения и детонации газов (Часть 1), гетерогенных (Часть 2) и конденсированных (Часть 3) систем, а также пленарной дискуссии на тему «Методы управления процессами горения и взрыва» (Часть 4). В дополнение к научным сообщениям в четвертом выпуске сборника открывается новая рубрика «Научная публицистика», где будут публиковаться материалы о месте и роли науки в жизни общества, существующих проблемах и возможных путях их решения (Часть 5). Материалы, публикуемые в рубрике, будут размещаться в Интернете на сайте [www.combex.ru](http://www.combex.ru) для получения отзывов заинтересованных читателей. Ваши отзывы после обобщения будут опубликованы в последующих выпусках сборника и на Интернет-сайте.

**Часть 1** посвящена вопросам горения и детонации газов.

**Басевич В. Я. и др.** построили новый неэмпирический детальный механизм окисления и горения алкановых углеводородов — октана, нонана и декана. Важнейшая особенность механизма — проявление стадийности в виде холодных и голубых пламен при низкотемпературном самовоспламенении. Получено удовлетворительное качественное согласие между опытными и расчетными данными.

**Борисов А. А. и др.** провели экспериментальные исследования самовоспламенения углеводородных топлив в статической установке перепускного типа с использованием скоростной видеосъемки

и показали, что самовоспламенение носит очаговый характер. В опытах не обнаружено какой-либо закономерности в местах появления очагов. Видимая скорость развития очагов самовоспламенения оказалась выше примерно в 6–7 раз, чем видимая скорость распространения фронта пламени, возникающего при искровом зажигании в условиях, близких к самовоспламенению.

В другой работе *Борисова А. А. и др.* исследовалась возможность получения синтез-газа в некаталитических режимах самовоспламенения попутного нефтяного газа в кислороде. Показано, что при самовоспламенении попутных нефтяных газов возникает область отрицательного температурного коэффициента (ОТК) с сильной зависимостью скорости реакции от давления. Появление области ОТК связано с наличием в попутном нефтяном газе углеводородов алканового ряда, начиная с пропана.

*Медведев С. П. и др.* предложили методический прием для интерпретации экспериментальных данных по задержкам воспламенения в условиях изменяющегося давления и температуры за отраженной ударной волной (УВ).

В работе *Игнатенко Д. Г. и др.* представлены результаты экспериментальных исследований возможности самовоспламенения газообразного водорода при взаимодействии струи водорода высокого давления с преградами различной конфигурации. Эксперименты проводились с соплами диаметром от 6 до 15 мм при давлениях вытеснения от 120 до 135 атм. Самовоспламенение водорода происходило только при использовании сопла максимального диаметра, причем результаты опытов не всегда воспроизводились. В работе делается вывод о вероятностном характере самовоспламенения.

*Шаповалова О. В. и др.* предложили технологию конверсии пропан-бутановой фракции природного газа (сжиженный нефтяной газ) в синтез-газ, используя объемные радиационные горелки с проницаемой матрицей. Экспериментально показано, что пределы горения пропан-бутановой смеси в таких горелках значительно уже, чем у метана, и находятся в области меньших значений коэффициента избытка окислителя. Сделан вывод о возможности применения предложенной технологии для производства синтез-газа и водорода на удаленных месторождениях с последующим использованием в малотоннажных стационарных источниках энергоснабжения.

*Аверьков И. С. и др.* провели эксперименты по преобразованию авиационного керосина в синтез-газ методом двухэтапного селективного окисления. На первом этапе проходило частичное (парциальное) окисление керосина атмосферным воздухом, а на втором — углекислотная и паровая конверсия полученных легких углеводородов в продуктах окисления первого этапа. Показано, что удельная производительность химического реактора на основе микропористой мембраны с нанокаталитической поверхностью достаточна для реализации предложенной технологии на борту самолета.

*Яновский Л. С. и др.* приводят результаты исследований, демонстрирующие возможность автотермического риформинга авиационного керосина с минимальным расходом воды для применения на борту летательного аппарата. В ходе экспериментов получен синтез-газ, пригодный для питания твердооксидных топливных элементов.

Работа *Агафонова Г. Л. и др.* посвящена выяснению механизма образования зародышей частиц сажи при пиролизе ароматических углеводородов. Проведены эксперименты с рядом углеводородов, которые могут играть роль первичных звеньев в образовании зародышей сажи благодаря ароматическим кольцам, служащим заправкой для образования крупных полиароматических фрагментов. В экспериментах обнаружен выраженный максимум на температурной зависимости выхода сажи как для алифатических, так и для ароматических углеводородов.

*Гольцев В. Ф. и Гомзякова И. И.* оценили влияние состава углеводородного топлива на образование вредных веществ — оксидов азота и оксида углерода — при горении топлив в схемах с предварительной гомогенизацией топливно-воздушной смеси. В результате расчетов и анализа структуры фронта пламени показано, что оксиды азота и оксид углерода могут образовываться в предпламенных реакциях, в пламени и в продуктах горения в зависимости от коэффициента избытка воздуха в горючей смеси.

*Азатян В. В. и др.* показали, что в силу разветвленно-цепного механизма реакций газофазного горения малые присадки определенного типа веществ могут подавлять горение, т. е. ингибировать процесс. При этом совместное действие разного типа присадок на горение имеет неаддитивный характер даже в отсутствие взаимодействия примесей между собой. Неаддитивность в ингибировании

может быть связана с тем, что одна из присадок оказывается промотором горения. Это расширяет возможности химического управления горением и взрывом газов.

Работа *Шмелева В. М. и др.* посвящена исследованию возможности расширения пределов устойчивого горения метановоздушных смесей в полости с запертым инфракрасным излучением, т. е. при организации радиационной обратной связи за счет сильного радиационно-конвективного теплообмена. Экспериментально доказано существенное расширение пределов горения предварительно перемешанных смесей природного газа с воздухом вплоть до коэффициента избытка окислителя 0,4 (нижний предел) и 2,15 (верхний предел). Для бедных смесей доказана возможность устойчивого горения с рекордно низкой концентрацией оксидов NOx и CO в продуктах сгорания (до 2 ppm), а для богатых смесей — возможность эффективной конверсии природного газа в синтез-газ.

*Крупкин В. Г.* предложил методику оценки пожаро- и взрывобезопасности технологических процессов газофазного химического синтеза, в которых могут образовываться смеси паров исходных и промежуточных продуктов, способных к суммарно-экзотермическим реакциям со значительным повышением температуры, а также к самовозгоранию и взрыву. В качестве примера рассмотрена лабораторная пилотная установка для парофазного нитрования бензола азотной кислотой.

*Кузнецов Н. М. и др.* предложили аналитические аппроксимации термических и калорических уравнений состояния для основных компонентов газообразных продуктов горения углеводородных горючих и порохов в расширенном диапазоне давлений (до 10 кбар) и плотностей (вплоть до плотности жидкости).

*Шмелев В. М.* предложил простую модель течения газа в вихревой камере, на основе которой рассчитал распределение тангенциальной скорости потока и определил коэффициент эффективной турбулентной вязкости.

В работе *Брякиной У. Ф. и др.* определены границы применимости модели химически равновесной смеси продуктов взрыва для трех типичных одномерных задач, связанных с детонацией топливно-кислородных и топливно-воздушных смесей: (i) задачи о распространении плоской детонационной волны по однородной смеси; (ii) задачи о распространении сферической детонационной волны;

(iii) задачи о детонации сферического объема горючей смеси в воздухе. Сравнение численных расчетов с использованием разных приближений показало, что для всех рассмотренных задач модель химически равновесной смеси продуктов детонации лучше согласуется с неравновесно-кинетическим расчетом, чем модель смеси постоянного состава.

**Фролов С. М. и др.** показали экспериментально, что установка в трубе осесимметричного сопла специальной формы позволяет обеспечить переход УВ в детонацию в стехиометрической смеси природного газа с воздухом при нормальных условиях при скорости УВ на входе в сопло выше  $1150 \pm 30$  м/с, что приблизительно соответствует числу Маха 3,3. Полученный результат важен для разработки горелочных устройств нового поколения, работающих на импульсно-детонационном сжигании природного газа, а также для более глубокого понимания динамики аварийных газовых взрывов в горных выработках.

**Дубровский А. В. и др.** провели численное моделирование распространения УВ в метановоздушной смеси в трубе с профилированным центральным телом и определили оптимальную форму тела для обеспечения быстрого перехода относительно слабой УВ в детонацию.

**Фролов С. М. и др.** впервые экспериментально доказали возможность управляемого циклического перехода горения в детонацию (ПГД) в трубе диаметром 94 мм с открытым концом на длине около 2,5–3 м при раздельной непрерывной подаче природного газа и воздуха. На основе экспериментальных исследований авторами разработан, изготовлен и испытан экспериментальный образец импульсно-детонационного горелочного устройства — прообраз промышленных горелочных устройств нового поколения, совмещающих комбинированное воздействие на объекты, обдуваемые продуктами горения: ударно-волновое и тепловое.

**Фролов С. М. и др.** с помощью детальных кинетических расчетов и экспериментов показали, что эмиссионные показатели детонационных горелочных устройств по выходу оксидов азота значительно ниже, чем в существующих мощных горелках-аналогах. При некоторых условиях, применимых в основном к горелочным устройствам на вращающейся детонации, основным компонентом оксидов азота может оказаться  $N_2O$ .

**Кривошеев П. Н. и Пенязьков О. Г.**, исследуя ПГД в стехиометрической пропанокислородной смеси, экспериментально доказали, что размещение области ПГД в непосредственной близости к внезапному расширению сечения трубы позволяет существенно снизить уровень критического начального давления, требуемого для ПГД в широкой трубе.

В работе **Иванова В. С. и Фролова С. М.** впервые рассчитаны тяговые характеристики перспективного воздушно-реактивного импульсного детонационного двигателя (ИДД), работающего на углеводородном горючем в режиме ПГД, в компоновке с входным устройством и соплом в условиях сверхзвукового полета с числом Маха 3.0 на высоте 9,3 и 14 км. Показано, что удельный импульс ИДД достигает 1700 с, что значительно выше, чем для прямогочного воздушно-реактивного двигателя, работающего на медленном горении (1200–1500 с).

Работа **Власенко В. В. и Ширяевой А. А.** посвящена анализу физических процессов в модельном однокамерном ИДД бесклапанной схемы и влиянию этих процессов на тяговые характеристики двигателя. Рассмотрена упрощенная модельная схема двигателя, которая не обеспечивает равномерной по времени полезной силы, но допускает возможность параметрических расчетов в осесимметричной постановке.

**Часть 2** посвящена вопросам горения и детонации гетерогенных систем.

**Авдеев К. А. и др.** разработали физико-математическую модель прогрева двухслойной частицы алюминия. Модель позволяет определить условия, когда в оксидной оболочке достигается критическое напряжение, приводящее к ее растрескиванию и утрате защитных свойств. Установлено, что для мелких частиц алюминия (диаметром 6 мкм) увеличение толщины оксидного слоя приводит к уменьшению критической температуры, т. е. до момента, когда оксидная оболочка теряет защитные свойства, частицы с более толстыми оксидными оболочками прогреваются быстрее.

**Шмелев В. М. и др.** экспериментально исследовали горение порошка алюминия с водой, находящейся в разных состояниях — в жидкой и паровой фазах, а также в кристаллогидрате. Рассмотрены вопросы воспламенения, устойчивости горения и образования твердых продуктов сгорания.



В работе *Лецевича В. В. и др.* получена экспериментальная информация о критических условиях самовоспламенения микрочастиц железа в кислороде, а также измерена температура горения. Анализ экспериментальных результатов показал, что частицы железа могут гореть в паровой (газовой) фазе — особенность, которую можно использовать для синтеза наночастиц оксидов железа.

*Фролов С. М. и др.* сообщают о разработке и испытаниях низкочастотного демонстратора рабочего процесса в жидкостном импульсно-детонационном ракетном двигателе, формирующего будущей облик ракетного двигателя нового типа для системы стабилизации космических аппаратов. В результате испытаний найдены условия, при которых в демонстраторе происходил надежный ПГД как в режиме однократного импульса, так и в частотном режиме.

*Ассовский И. Г. и др.* рассмотрели отличительные особенности структурных характеристик аэрогелей и экспериментально продемонстрировали возможность газофазного синтеза аэрогелей при горении алюминия, цинка и других металлов в различных газовых средах.

*Стрелецкий А. Н. и др.* предложили двухстадийную схему приготовления механоактивированных систем  $Me/MoO_3$  ( $Me = Al, Mg, Si$  и др.). На первой стадии в результате механической активации в инертной среде приготавливают наноразмерный  $n-MoO_3$ , а на втором этапе проводят гомогенизацию и совместную механическую активацию смеси  $Me + n-MoO_3$ . Получены данные по сравнению скоростей горения образцов  $Al/MoO_3$ , активированных в различных условиях, что позволило определить оптимальные дозы механической обработки в зависимости от типа частиц исходных компонентов.

*Храповский В. Е. и др.* представили результаты экспериментальных исследований конвективного горения в смесях аммиачной селитры с древесным углем. Изучалось влияние размера частиц аммиачной селитры, ее соотношения с древесным углем, мощности воспламенителя на давление и время задержки, при которых возникает конвективное горение, а также на скорость распространения конвективного горения, интенсивность подъема давления, время догорания диспергируемой взвеси и величину достигаемого максимального давления.

В работе *Халтуринского Н.А. и др.* исследуется механизм действия бромсодержащих антипиренов в смеси с трехокисью сурьмы на горючесть и физико-механические свойства композиций полиэтилена. До сих пор механизм действия такого типа антипиренов связывали с ингибированием газофазных реакций в зоне пламени. Однако полученные в работе данные показывают, что механизм действия антипиренов рассмотренного класса связан, главным образом, с процессами в конденсированной фазе — конденсацией и сшивкой.

В сообщении *Халтуринского Н.А. и Турова Е.В.* рассмотрены функции основных составляющих вспучивающихся покрытий: полиолов; неорганических кислот или веществ, выделяющих кислоту при нагревании; органических аминов и амидов; а также галогенсодержащих соединений. Рассмотрены физико-химические механизмы их взаимодействия при высокотемпературном пиролизе и механизмы образования вспененного слоя, необходимого для надежной теплоизоляции защищаемой поверхности.

*Халтуринский Н.А. и др.* предлагают новейшие разработки антипиренов для снижения горючести полимерных материалов и материалов на их основе. Результаты испытаний модифицированных полимеров, а также эпоксидных и полиэфирных смол показали, что введение в их состав антипирена FR 204 позволяет перевести эти материалы в класс трудногорючих по показателю кислородного индекса. Сочетание низкой цены и высокой эффективности нового антипирена позволяет снизить себестоимость производства модифицированных полимеров в полтора–два раза.

*Халтуринский Н.А. и др.* систематически изучили свойства термопластичных вулканизатов (ТПВ) при использовании модифицированной смеси декабромдифенил оксида с трехокисью сурьмы в качестве антипирена. Цель работы состояла в исследовании влияния процесса совмещения антипирена и полимерной матрицы на горючесть и физико-механические свойства ТПВ. Показано, что при обсуждении механизма действия смесей галогенсодержащих ингибиторов с трехокисью сурьмы необходимо рассматривать не только классические схемы ингибирования, но и обращать внимание на процессы деструкции в конденсированной фазе на горячей поверхности.

**Мелик-Гайказов Г. В.** предложил способ расчета физико-химических превращений в нефтяной скважине при введении в нее жидкой горюче-окислительной смеси для создания импульсного повышения давления (для восстановления притока нефти, нарушенного после длительной эксплуатации скважины). В отличие от известного способа, когда массовые, гидравлические и теплофизические параметры задаются изначально, в предложенном способе они являются функциями процесса, претерпевая существенное изменение во времени.

**Комиссаров П. В. и др.** предложили способ повышения эффективности подводного взрыва путем введения в воду, окружающую активный заряд (смесь перхлората аммония (ПХА), нитрометана и алюминия с большим избытком металла), пузырьков газа. Увеличение проницаемости среды для струй продуктов детонации приводит к увеличению скорости их разлета, смешения с водой и реагирования, увеличивая импульс волны и одновременно снижая амплитуду отрицательной фазы, губительной для ихтиофауны.

**Куликов В. Н. и др.** исследовали влияние содержания взрывчатых веществ (ВВ) (октогена различной дисперсности), металлического горючего (алюминиевого порошка с размером частиц 4–6 мкм), штатного окислителя и типа (активного или инертного) связующего на взрывчатые и осколочные характеристики модельных взрывчатых составов (ВС) на основе твердых ракетных топлив (ТРТ). Показано, что в зависимости от содержания основных компонентов такие ВС по своим взрывчатым и энергетическим характеристикам превосходят штатные ВВ (ТНТ, А-IX-2) и находятся на уровне окфол, а ряд образцов превосходит окфол. Осколочные характеристики выше у ВС с более мелкими частицами ВВ.

**Часть 3** посвящена вопросам горения и детонации конденсированных систем.

**Чуйко С. В. и Соколовский Ф. С.** показали, что применение в составе смесевых топливных систем компонентов, капсулированных термостойкими пленками полимеров, расширяет арсенал средств управления комплексом свойств топлив, в частности позволяет регулировать его баллистический закон, например получить «площадку» на кривой  $U(P)$  или получить кривую  $U(P)$  с затуханием горения при повышенных давлениях.

*Денисюк А. П. и Тве Е Зо* измерили методом тонких термопар (вольфрам-рениевые термопары толщиной  $\approx 5 \mu\text{м}$ ) температурный профиль в волне горения двух низкокалорийных порохов, содержащих в большом количестве термостойкие пластификаторы, в широком диапазоне давлений — от 10 до 150 атм. На основании измерений и анализа литературных данных для других порохов установлено, что кинетика разложения к-фазы не зависит от состава пороха, тогда как единой зависимости скорости горения от температуры поверхности не наблюдается. Рассмотрены возможные причины этого факта.

*Зенин А. А. и Финяков С. В.* рассчитали мгновенную скорость горения гексогена при гармонических пульсациях давления, определили среднюю скорость горения и получили ее зависимость от частоты вынуждающей силы (давления). Расчеты проведены для средних давлений от 20 до 100 атм при пульсациях давления с частотой от 0,32 до 15,6 кГц. Показано, что средние скорости горения в 1,2–1,5 раза выше стационарной скорости горения, а мгновенные скорости горения пульсируют со значительно более низкими частотами, чем частота пульсаций давления.

*Муравьев Н. В. и др.* подробно исследовали влияние добавок частиц диоксида титана — их дисперсности, кристаллической модификации и весового содержания — на процессы горения и термического разложения октогена. Обнаружено каталитическое влияние диоксида титана на разложение и горение октогена и определено его оптимальное весовое содержание в смеси.

*Пивкина А. Н. и др.* в поиске эффективных энергоемких композиций систематически исследовали совместное разложение бинарных составов ПХА/октоген в широком диапазоне концентраций компонентов. Показано, что температура начала экзотермического разложения смесового состава постоянна во всем диапазоне изменения концентраций компонентов, однако существуют условия, при которых разложение бинарной смеси происходит в одну стадию с высоким энерговыделением или в несколько стадий.

*Синдицкий В. П. и др.* провели исследование закономерностей и механизма горения смесей окислителя ПХА с горючими связующими на основе полиуретанового каучука с нитроэфирными пластификаторами. В опытах использовали ПХА трех фракций (со

средним размером частиц 4–8, 22–30 и  $\approx 250$  мкм), октоген двух фракций (36 и 300 мкм) и алюминий марки АСД-6.

**Михайлов А. В.** предложил схему замыкания системы уравнений теплопроводности и химической кинетики при постановке и решении краевой газодинамической задачи на подвижной границе — задачи теплового воспламенения порохов и ТРТ.

В работе **Маршакова В. Н. и Истратова А. Г.** продолжено исследование переходных процессов горения в модельном ракетном двигателе при внезапном изменении критического сечения сопла и найдены условия погасания заряда.

**Ермолаев Б. С. и др.** изучают возможность повышения дульной скорости с помощью присоединенного заряда. Приведен критический анализ публикаций и результаты собственных расчетных и экспериментальных исследований. Рассмотрены присоединенные заряды разных конфигураций. Показано, что для достижения эффекта порох присоединенного заряда должен гореть с очень высокой и прогрессивно возрастающей скоростью при экстремальных нагрузках, причем горение должно начаться вблизи максимума диаграммы давления (при 300–500 МПа) и продолжаться при спаде давления во время движения метаемого тела.

**Чуйко С. В. и др.** изучают вопрос о сопоставимости баллистических характеристик «сырой» массы твердого топлива и его отвержденного аналога и приходят к выводу, что в ряде реальных ситуаций для решения практических задач вполне допустимо использовать характеристики горения «сырой» топливной массы с учетом известных отличий от соответствующих характеристик для отвержденного топлива. При этом существенно возрастает эффективность отработки рецептур как по временным, так и по материальным затратам.

**Корсунский Б. Л. и др.** провели исследование структуры, а также оптических и термических свойств  $\epsilon$ -октогена — новой кристаллической модификации октогена. Новую модификацию получали как побочный продукт фазового перехода  $\beta \rightarrow \delta$  в присутствии циклогексана в узком диапазоне экспериментальных параметров в области термодинамической стабильности  $\delta$ -модификации.

**Дзябченко А. В.** предложил новый расчетный метод для предсказания кристаллической структуры органических высокоэнергетических материалов. Метод основан на вычислении энергии

кристаллической структуры как функции констант решетки и наборов параметров жесткого тела (включающих координаты центров масс и тройки углов Эйлера) системы молекулярных фрагментов, образующих молекулу нежесткой формы. На примере циклотриметилнитрамина — важного представителя энергетических материалов, показано, что метод предсказания кристаллических структур можно успешно использовать в качестве инструмента для описания структурных фазовых превращений в органических кристаллах.

**Иноземцев Я. О. и др.** разработали эталонный калориметр, одобренный Государственной комиссией и принятый Научно-техническим советом Ростехрегулирования в состав Государственного первичного эталона единицы энергии сгорания. Конструкция калориметра основана на принципе калориметра с изотермической оболочкой.

**Мирошниченко Е. А. и др.** измерили энтальпии сгорания и парообразования 13 вторичных нитраминол: линейных, циклических и каркасных структур, в том числе гексанитрогексаазаизовюрцитана (CL-20). Термохимический анализ экспериментальных данных по энергиям сгорания в стандартном состоянии показал, что в полинитраминах могут возникать значительные по величине избыточные энергии, обусловленные неаддитивностью межмолекулярных взаимодействий в конденсированной фазе.

**Конькова Т. С. и др.** предложили комплексный метод определения стандартной энтальпии образования комплексных солей переходных металлов — кобальта (II), никеля (II), цинка и кадмия — с органическим лигандами — 5-аминотетразолил-1-ацетгидразидом, 5-аминотетразолил-2-ацетгидразидом, и гидразид-1-тетразолилом уксусной кислоты. Методом калориметрии сжигания определены энтальпии сгорания лигандов и рассчитаны их стандартные энтальпии образования. Энергия сгорания измерена на герметичном калориметре, разработанным в ИХФ РАН.

В работе **Мирошниченко Е. А. и др.** экспериментально определены термохимические характеристики вещества CL-20 и промежуточных продуктов, получаемых в процессе синтеза. Кроме того, рассчитаны тепловые эффекты реакций по стадиям, энтальпии образования гексаазаизовюрцитана и его нитро- и нитрозопроизводных и разработаны рекомендации по выбору перспективных

фрагментов химических структур для синтеза компонентов ракетных топлив, порохов и ВВ нового поколения.

Работа *Левшенкова А. И. и др.* посвящена получению и исследованию горения координационных соединений производных 1,2,4,5-тетразина с перхлоратами и нитратами переходных металлов. В качестве лигандов использовались 3,6-дипиридин-2-ил-1,2,4,5-тетразин и высокоэнергетический 3,6-дигидразин-1,2,4,5-тетразин.

В работе *Пятакова Н. Ф. и др.* расчетным и опытным путем определены основные макромолекулярные характеристики нитраминол, включая теплоты взрывчатого превращения и скорости детонации. Обнаружена корреляция между скоростью горения и взрывчатыми свойствами. На основе выполненных исследований и анализа литературных данных о свойствах и параметрах горения нитраминол сформирована база данных для реализации компьютерных программ по установлению закономерностей «структура-свойства».

Работа *Махова М. Н.* посвящена изучению влияния экспериментальных условий на теплоту взрыва (ТВ) ВВ и их смесей с алюминием. Показано, что ТВ ВВ и энергоемких композиций (в частности, алюминизированных составов) необходимо измерять в условиях, исключающих изменение состава продуктов взрыва в результате их вторичного нагрева. Наиболее благоприятные условия создаются при одновременном использовании массивной оболочки заряда и среды инертного газа (под давлением).

В работе *Дубовика А. В.* решается задача о схлопывании сферической полости в вязкопластичном ВВ. Показано, что вязкопластический механизм ударно-волнового инициирования пористых ВВ эффективен лишь в сравнительно узком диапазоне относительных плотностей зарядов, тогда как фрикционный механизм инициирования взрыва эффективен в широком интервале относительных плотностей зарядов.

*Теселкин В. А.* продолжил исследования процессов инициирования смесей ВВ на основе октогена, ТНТ и БТНЭН — бис(2,2,2-тринитроэтил)нитрамина с энергоемкими добавками (алюминий марки АСД-4, наноразмерный алюминий и карборановые наночастицы). Основное внимание уделено установлению влияния дисперсности и физико-химической природы компонентов на параметры

иницирования взрыва смесей при механических воздействиях. Опыты проводились с использованием комплекса методов, включающего методы критических напряжений и разрушающейся оболочки.

В работе *Денисаева А. А. и др.* проведены исследования чувствительности к удару образцов, состоявших из слоев пленки фторпласта-4 (тефлона), чередующихся с алюминиевой фольгой. Сделан вывод о механохимической природе взаимодействия тефлона с алюминием при ударе. Для проверки обоснованности этого вывода было исследовано влияние начальной температуры многослойных образцов алюминий–тефлон на условия их инициирования при ударе.

*Долгобородов А. Ю. и др.* провели комплекс экспериментальных работ по исследованию конденсированных энергетических материалов на основе кремния и твердых окислителей, направленный на создание новых перспективных энергетических материалов с высокими скоростями самоподдерживающихся химических реакций в условиях горения и детонации. Предложена методика получения механоактивированных энергетических композитов на основе смеси кремния с твердыми окислителями: перхлоратом калия, ПХА и нитратом калия.

*Комиссаров П. В. и др.* провели экспериментальные исследования, направленные на повышение эффективности подводного взрыва благодаря использованию смесевых композиций на основе твердого окислителя (например, ПХА), жидкого горючего (например, нитрометана) и алюминия. Доказана возможность возбуждения и распространения самоподдерживающихся низкоскоростных режимов детонации в таких композициях, причем при взрыве под водой избыточный металл может реагировать с окружающей водой, повышая общую энергетику заряда.

*Пепекин В. И.* применил нетрадиционный подход для оценки детонационной способности ВВ различных классов. За меру детонационной способности ВВ принят энергетический потенциал. Показано, что ранжирование ВВ по энергии молекул согласуется с экспериментальными данными по чувствительности твердых и жидких ВВ при механическом воздействии, а также с данными по давлению инициирования детонации в методе инертной преграды.



**Часть 4** включает некоторые материалы пленарной дискуссии на тему «Методы управления процессами горения и взрыва». Цель дискуссии — обсудить весь арсенал известных и новых методов и средств управления горением, детонацией и взрывом с научной аргументацией их применимости для решения различных практических задач. В дискуссии приняли активное участие сотрудники отдела и коллеги из других организаций.

С просьбой поделиться своими размышлениями о науке и обществе я обратился к Председателю Научного совета по горению и взрыву Российской академии наук академику А. Г. Мержанову. Он любезно согласился и представил нам свое эссе «С мыслями об Академии...», которое мы с удовольствием публикуем в **Части 5**. С нетерпением будем ждать Ваших отзывов на эту, безусловно, интересную, острую и поучительную публикацию.

Я признателен всем сотрудникам отдела горения и взрыва ИХФ РАН и коллегам из других организаций за активное участие в научной конференции и ответственное отношение к подготовке материалов, публикуемых в сборнике. Неоценимое значение для качества сборника имели отзывы рецензентов и работа моих коллег по редакционной комиссии: А. А. Борисова, А. Г. Истратова, А. А. Сулимова и В. А. Теселкина. С особой благодарностью отмечаю поддержку и полезные советы академика А. А. Берлина и академика А. Г. Мержанова. Как и в прошлые годы, всю работу по подготовке и изданию сборника выполнил в срок и с высоким качеством замечательный коллектив издательства ТОРУС ПРЕСС, и я с удовольствием отмечаю их высокий профессионализм.

Книга издана при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 10-08-01702-э.г.).

## Литература

1. Горение и взрыв. Вып. 1 / Под общ. ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008. 112 с. ISBN 5-978-94588-056-6.
2. Горение и взрыв. Вып. 2 / Под общ. ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2009. 192 с. ISBN 978-5-94588-062-7.
3. Горение и взрыв. Вып. 3 / Под общ. ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. 344 с. ISBN 978-5-94588-072-6.

Москва

С. М. Фролов