

История Отдела горения и взрыва

В лаборатории П.Ф. Похила были получены результаты, на основе которых сформирован актуальный до настоящего времени механизм горения порохов, составными чертами которого являются суммарно экзотермические реакции в конденсированной фазе и последующее ее диспергирование.

Проблемы горения и взрыва и тесно связанные с ними вопросы химической кинетики всегда были в сфере интересов академика Н.Н. Семенова. Развита Семеновым теория цепных реакций, базировалась на реакции окисления фосфора. Одной из первых лабораторий, созданных после образования института, была лаборатория горения, которую возглавил Ю.Б. Харитон. Среди первых сотрудников этой лаборатории были П.Ф. Похил, А.Я. Апин, А.Ф. Беляев, О.И. Лейпунский. В военные годы тематика лаборатории стала особенно актуальной. В ИХФ были проведены работы по многим направлениям горения и взрыва, в том числе по суррогатным ВВ, а также по внутренней баллистике ракетных двигателей на твердом топливе и разрешена проблема их неустойчивой работы. К началу 50-х годов крупные специалисты в области горения и взрыва (Ю.Б. Харитон, Я.Б. Зельдович, К.И. Щелкин, Д.А. Франк-Каменецкий, В.К. Боболев, О.И. Лейпунский и др.) были заняты в атомном проекте, но работы по изучению горения и взрыва в ИХФ активно продолжались, а проблемы детонации ВВ, крупномасштабных взрывов, распространения и затухания ударных волн были весьма актуальны и для атомного проекта. По окончании начальной фазы атомного проекта, развитие атомной и ракетной техники требовало углубленного изучения различных физико-химических явлений при горении и детонации: в 1954 г. в ИХФ АН СССР был образован отдел горения конденсированных систем (ГКС). Н. Н. Семенов поручил

возглавить отдел П.Ф. Похилу – опытному ученому и организатору науки. В отдел вошли лаборатории горения порохов (П.Ф. Похил), детонации (А.Я. Апин), взрывных процессов (А.Ф. Беляев) и физики горения (О.И. Лейпунский), а чуть позже, в 1956 г. – лаборатория кинетики термического разложения (Ф.И. Дубовицкий), в 1960 г.) – лаборатория чувствительности к механическим воздействиям (В.К. Боболев), в 1964 г. – лаборатория детонации гетерогенных систем Я.К. Трошина. В 1967 г. в связи со смертью А.Ф. Беляева руководство его лаборатории было возложено на О.И. Лейпунского. Кроме того, из лаборатории А.Я. Апина выделилась лаборатория термохимии, которую возглавил д.х.н. Ю.А. Лебедев. Отдел ГКС, руководимый П.Ф. Похилом, в такой конфигурации быстро стал ведущим центром страны по изучению химии и физики разложения, теплового взрыва, зажигания, горения и детонации различных типов горючих и взрывчатых систем; устойчивости и предельным режимам детонации и горения; промежуточным режимам распространения, критическим условиям перехода с одного режима на другой; ударных адиабат; режимов горения порохов в ракетной камере; горению в поле инерционных перегрузок; лазеров на горении. Детально был изучен механизм акустической устойчивости баллиститных топлив в ракетном двигателе.

В связи с расширением тематики исследований отдел ГКС непрерывно развивался, а его структура изменялась. В 1972 г. лаборатория А.Я. Апина разделена на 2 лаборатории, которые возглавили В.И. Пепекин и И.М. Воскобойников – ученики А. Я. Апина, ставшие к этому времени известными специалистами. В 1973 на основе лаборатории П.Ф. Похила организованы лаборатории А.Д. Марголина и С.С. Новикова. Лабораторию А.Ф. Беляева возглавил А.А. Борисов, а вскоре из нее организованы две лаборатории, руководимые А.А. Сулимовым и Ю.В. Фроловым. После ухода из

жизни П.Ф. Похила руководство отделом было возложено на Л.Н. Стесика. В 1978 году из лаборатории С.С. Новикова выделилась лаборатория газодинамики крупных пожаров Ю.А. Гостинцева. В 1983 г. отдел возглавил В.И. Пепекин. В 1988 г. на базе лаборатории В.К. Боболева были организованы лаборатория чувствительности (А.В. Дубовик) и лаборатория твердых топлив (С.В. Чуйко). В 1989 г. руководство лаборатории А.Д. Марголина перешло к В.М. Шмелеву, а лаборатории И.М. Воскобойникова – к М.Ф. Гогуге. Заведующим лабораторией термохимии стал Ю.Н. Матюшин. В этом же году в отделе была организована лаборатория горения полимеров Н.А. Халтуринского. Лабораторию О.И. Лейпунского возглавил А.А. Зенин. В 1999 г. лабораторию Ф.И. Дубовицкого возглавил Б.Л. Корсунский. В 2000 г. лабораторию А.А. Борисова возглавил С.М. Фролов. Руководителем отдела стал С.В. Чуйко. В 2008 г. в связи с продолжающимся расширением тематики исследований на системы в различном агрегатном состоянии, включая газы и струи, название отдела сменилось на более общее – он стал называться отделом горения и взрыва. Руководителем отдела назначен С.М. Фролов. Лабораторию А.А. Зенина возглавил И.Г. Ассовский, лабораторию Ю.В. Фролова – А.Н. Пивкина, а лабораторию Сулимова – Б.С. Ермолаев. В 2020 г. Б. С. Ермолаева сменил П.В. Комиссаров, а В.М. Шмелева – В.Г. Крупкин. В настоящее время в 6 лабораториях отдела горения и взрыва работают 54 штатных сотрудника, среди них 17 докторов и более 20 кандидатов наук. Ниже представлено несколько фотографий сотрудников отдела в 1974 г., 1984 г. и 2016 г.



1974 г.



ГКС. Поездная утренняя сессия

1884 г



2016 г.

Перечислим наиболее значимые научные результаты, полученные в отделе за последнее время:

2015

Впервые экспериментально получен переход горения в детонацию в системе газ–пленка при зажигании слабым источником, генерирующим квазиакустическую волну давления. (Фролов С.М. и др.), и экспериментально продемонстрирована возможность существенного увеличения детонационной способности смесевых взрывчатых составов с помощью предварительной механохимической активации компонентов (Долгобородов А.Ю. и др.).

В лаборатории горения разработан, сконструирован и изготовлен генератор водорода производительностью до 2 кубометров в минуту для питания топливных элементов, работающий на взаимодействии порошкового алюминия с водой при каталитической поддержке гидроксидом натрия. (Шмелев В.М. и др.).

В лаборатории горения твердых топлив с помощью оригинальной капельной методики, определена макрокинетика взрывного превращения водных композиций АДНы в широком интервале изменения концентраций и начальных температур. Кроме того, впервые экспериментально доказана возможность прямого лазерного возбуждения детонации ряда энергоемких комплексных соединений металлов (Ассовский И.Г. и др.).

В лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах впервые прямыми стрельбовыми испытаниями доказана эффективность гибридной схемы выстрела с присоединенным зарядом и получен высокий прирост (до 25%) дульной скорости по сравнению с классическим зерненным зарядом насыпной плотности при одинаковом максимальном давлении в камере (Ермолаев Б.С. и др.).

В лаборатории энергетических материалов обоснован и разработан прототип пиротехнического устройства, срабатывание которого позволяет фрагментировать космический мусор в верхних слоях атмосферы с последующим его сгоранием, в частности, для предотвращения падения на Землю деталей отработавших спутников из титанового сплава (Пивкина А.Н. и др.).

2016

В лаборатории детонации впервые в мире экспериментально продемонстрирована возможность организации устойчивого непрерывно-детонационного горения водорода в сверхзвуковом потоке в макете-демонстраторе прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД) оригинальной конструкции в условиях обдува воздушным потоком с числом Маха от 4 до 8 в импульсной аэродинамической трубе с низкой температурой торможения и экспериментально доказана возможность создания компактного многорежимного ПВРД с детонационным горением водорода. Кроме

того, впервые в мире экспериментально продемонстрирована возможность создания гидрореактивной тяги с помощью движителя нового типа – импульсно-детонационного прямоточного водометного движителя – с помощью периодического ускорению газонасыщенной забортной воды ударной волной, генерируемой управляемой импульсной детонацией моторного топлива. (Фролов С.М. и др.).

В лаборатории горения разработана и экспериментально обоснована концепция нетрадиционной структуры заряда твердого топлива на основе бора для воздушно-реактивного двигателя с управляемым уровнем тяги (Чуйко и др.). Создано ИК-горелочное устройство нового типа с рекуперационной матрицей из металлической пены удельной мощностью до 100 Вт/см² и экологически чистыми продуктами сгорания (менее 6 ppm оксидов азота и монооксида углерода). Обнаружено явление фильтрационной коррозии при взаимодействии спрессованного порошка алюминия с водой в генераторах водорода. Продемонстрирована возможность генерации водорода в реакторе при пропускании водяного пара через расплав алюминия с выходом водорода до 100% теоретического выхода при небольших добавках КОН. (Шмелев В.М. и др.).

Предложено и научно обосновано использование конвективного горения и низкоскоростной детонации смесевых твердых топлив в качестве рабочего режима в импульсных сопловых двигателях торцевого горения. Подобраны составы, дисперсность компонентов и плотности зарядов, которые обеспечивают надежную и безопасную работу двигателя, исключая ускорение волны. Реализация идеи открывает возможность повышения плотности заряжения, сокращения времени работы и существенного упрощения конструкции двигателя (Ермолаев Б.С. и др.).

2017

Впервые в мире экспериментально зарегистрирован режим непрерывно-детонационного горения водорода в кольцевой камере сгорания модели детонационного ПВРД в условиях обдува воздушным потоком с числом Маха 5,7 с высокой температурой торможения (1500 К) в импульсной аэродинамической трубе. Полученные результаты доказывают возможность создания двигателей для высокоскоростных летательных аппаратов на новых физических принципах (Фролов С.М. и др.).

В лаборатории горения проведено математическое моделирование работы электрического генератора внутреннего сгорания оригинальной конструкции со свободными поршнем и цилиндром в линейном варианте – идеально сбалансированной тепловой машины с движущимися элементами. Показано, что КПД преобразования химической энергии в электрическую при сжигании метано–воздушной смеси может достигать 50%. Продемонстрирована работа экспериментальной пневматической модели электрогенератора, выполненного в компактном роторном варианте. Кроме того, предложена новая схема организации устойчивого горения монолитной гидрореагирующей системы на основе матрицы металла, насыщенной водой, обладающая высокой плотностью, механической прочностью, максимальной концентрацией металла и работоспособностью в широком диапазоне температур (Шмелев В.М. и др.).

Силами лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах подготовлена и опубликована монография «Конвективное горение и низкоскоростная детонация пористых энергетических материалов» (авторы Б.С. Ермолаев и А.А. Сулимов). В монографии обобщены результаты фундаментальных исследований по закономерностям и механизмам конвективного горения и

низкоскоростной детонации, выполненных в лаборатории, а также приведена информация по применению этих процессов в технических устройствах.

2018 г.

В лаборатории детонации впервые экспериментально доказана возможность организации непрерывно–детонационного горения плёнки жидкого горючего в кольцевой камере сгорания демонстрационного образца детонационного жидкостного ракетного двигателя нового типа. В таком двигателе плёнка жидкого горючего используется как для обеспечения устойчивого рабочего процесса, так и для активной тепловой защиты стенок камеры сгорания. Мировых аналогов такому двигателю нет. Кроме того, впервые в мире продемонстрирован автономный полет беспилотного летательного аппарата с силовой установкой нового типа – импульсно-детонационным двигателем собственной разработки. Результаты бросковых испытаний беспилотника взлетной массой до 100 кг показали, что использование такой силовой установки обеспечивает дозвуковой полет с набором скорости и высоты. Ввиду простоты конструкции и дешевизны таких установок, а также высоких удельных тяговых характеристик их можно рассматривать как альтернативу установкам на основе поршневых и турбореактивных двигателей для дозвуковых беспилотников (Фролов С. М. и др.).

В лаборатории горения предложена новая конструкция ИК-горелочного устройства и проведены экспериментальные исследования процесса горения смесей природного газа с воздухом над поверхностью плоской проницаемой керамической матрицы из мягкого жаростойкого теплоизолирующего материала Fiberfrax с рекуперативными элементами. Устойчивый режим поверхностного горения был реализован в области рекордно высоких значений удельной мощности горения до 2250 кВт/м² (Шмелев В.М. и др.).

Разработана математическая программа для расчетов критических параметров инициирования ударом индивидуальных ВВ и смесей ВВ, не являющихся парой окислитель-горючее, и проведены эксперименты по измерению скорости термического распада смеси НТО-ТНТ. Обнаружено, что скорость распада такой смеси при соотношении компонентов 1:1 намного превышает скорости распада каждого из компонентов в отдельности. (Дубовик А.В.).

В лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах экспериментально доказано существование баллистического подобия для выстрелов в комбинированной схеме с присоединенным зарядом в лабораторных ствольных устройствах разного калибра (Ермолаев Б.С. и др.).

2019 г.

Впервые в мире разработана, изготовлена и испытана детонационная форсажная камера сгорания, работающая на новых физических принципах – на непрерывно-детонационном горении авиационного керосина. Огневые испытания камеры в комбинации с малогабаритным одноконтурным турбореактивным двигателем проведены на наземном стенде. По сравнению с обычной форсажной камерой сгорания при том же уровне внутри камерного давления удельный расход топлива оказался на 30% ниже, а удельная тяга и коэффициент форсирования тяги – на 30% выше. Эти показатели свидетельствуют о высоких потенциальных возможностяхДФКС применительно к перспективным воздушно-реактивным двигателям (Фролов С.М. и др.). Кроме того, в лаборатории изучены условия, при которых на кривой зависимости скорости детонации конденсированных взрывчатых смесевых композиций от диаметра заряда появляется платообразный участок (псевдоидеальная детонация) (Долгобородов А.Ю. и др.).

В лаборатории горения предложено экологически чистое, мощное, безматричное ИК–горелочное устройство рекордной удельной мощности с низким уровнем вредных примесей в продуктах сгорания и высоким радиационным КПД. Горение происходит в объеме каркаса из раскаленных металлических пластин. радиационный КПД устройства доходит до ~ 40%. Устойчивый режим горения реализован для метано–воздушной смеси при удельной мощности горения до 5.2 МВт на 1 м² выходного сечения горелочного устройства. Концентрация окислов азота в продуктах сгорания до 14 ppm, концентрация монооксида углерода до 20 ppm при коэффициенте избытка воздуха ~ 1.4. Горелочное устройство может найти применение в промышленных процессах с нагревом и сушкой, в бойлерах, в конверторах по производству синтез газа и водорода, в камерах сгорания ГТУ. Экспонат награжден серебряной медалью на 25 Международной промышленной выставке Металл Экспо, 12-15 ноября 2019 г., Москва, ВДНХ (Шмелев В. М., Василик Н.Я.).

2020 г.

Впервые в мире (на новых физических принципах) разработан, изготовлен и испытан импульсно-детонационный пароперегреватель (ИДП), позволяющий получать сильно перегретый водяной пар с температурой выше 2000°С при атмосферном давлении благодаря циклической детонации тройных смесей «горючий газ–кислород–водяной пар». Создана установка-демонстратор для глубокой паровой конверсии органических коммунальных и промышленных отходов в энергетический газ или синтез-газ без каких-либо вредных выбросов в окружающую среду. Благодаря рабочему процессу с циклическим заполнением ИДП холодной горючей смесью и подачей в охлаждаемый реактор встречных импульсных сверхзвуковых струй перегретого пара вместе с измельченными отходами, в установке

успешно решены проблемы эффективности конверсии и теплового состояния конструкции: частицы отходов газифицируются, многократно попадая в вихревые зоны в центральной части реактора, при этом ударные волны, сопровождающие подачу сверхзвуковых струй, предотвращают агломерацию частиц (Фролов С.М. и др.).

В лаборатории горения предложен способ расширения области устойчивого поверхностного горения в ИК – горелочном устройстве путем контроля температуры поверхности матрицы с помощью фотоэлектрического датчика, расположенного вблизи излучающей поверхности матрицы. Регулирующая система обеспечивала практически постоянную температуру излучающей поверхности матрицы при значительном периодическом изменении коэффициента избытка воздуха. Для матрицы из гофрированной металлической фольги обеспечивалось стабильное поверхностное горение смеси природного газа с воздухом без проскока пламени в области параметров, где стационарное горение в ИК–режиме невозможно. Стабильное поверхностное горение в ИК–режиме реализовано при удельной мощности до 80 Вт/см² и температуре излучающей поверхности матрицы ~ 1000 °С (Шмелев В.М. и др.).

В лаборатории горения твердых топлив реализовано прямое (без оболочки) лазерное инициирование детонации малочувствительного ВВ лазерным импульсом малой энергии. С помощью фотоприёмников с разными спектральными характеристиками определены время задержки детонации и скорость разлёта конденсированных продуктов детонации (Ассовский И.Г. и др.)

С.М. Фролов, А.А. Сулимов, В.Г. Крупкин