

## ВЫСТУПЛЕНИЕ ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК С.М. ФРОЛОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

*Ключевые слова:* управляемое детонационное горение, непрерывное детонационное горение, энергетические установки, транспортные двигатели.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895449-450>

Впервые на возможность технического использования управляемого детонационного горения обратил внимание академик Я. Б. Зельдович в своей статье 1940 г. в "Журнале технической физики". Он теоретически доказал, что коэффициент полезного действия термодинамического цикла со сверхзвуковым детонационным горением намного выше, чем коэффициент полезного действия цикла с дозвуковым медленным горением.

Отличительные особенности детонационного горения — наличие сильной ударной волны, а также быстрые химические превращения в режиме самовоспламенения в этой волне. Такое горение можно использовать для создания повышенной тяги в транспортных двигателях нового поколения для аэрокосмических, наземных, надводных и подводных аппаратов, для совершения повышенной механической работы (фрагментации, формования), быстрого разогрева и пр., а также для получения веществ в гипертермализованном состоянии, например, для сверхперегрева воды в детонационных волнах. Мы называем эту воду гипертермализованной, поскольку она имеет чрезвычайно высокую реакционную способность.

Что сулит применение детонационного горения в транспортных двигателях и энергетических установках? Существующие установки, работающие на управляемом горении, в стационарном рабочем процессе при постоянном давлении в камере уже фактически достигли верхней границы коэффициента полезного действия. Создание установок, работающих на управляемой детонации в условиях значительного повышения давления, позволит поднять верхнюю границу коэффициента полезного действия на 15–20%, приблизив его к эффективности идеального цикла Карно.

Возникает вопрос: как реализовать на практике управляемое детонационное горение? Сегодня активно рассматриваются два варианта: непрерывное детонационное горение и импульсное детонационное горение. Непрерывное детона-

ционное горение возникает при подаче горючего и окислителя в кольцевую камеру сгорания таким образом, чтобы образующаяся горючая смесь сгорала во вращающейся детонационной волне. Это идея академика Б. В. Войцеховского, которую он выдвинул в 1959 г. В Институте химической физики им. Н. Н. Семёнова (ИХФ) РАН успешно реализован такой непрерывный детонационный процесс горения в экспериментальных образцах ракетных двигателей — водородно-кислородных и метано-кислородных — и впервые экспериментально доказана энергоэффективность непрерывного детонационного цикла. Оказалось, что детонационное горение на 7–8% увеличивает тягу и повышает удельные характеристики двигателя по сравнению с обычным горением. Кроме того, в детонационном двигателе такие же удельные характеристики достигаются при вдвое меньшем давлении в камере сгорания, что тоже очень важно, особенно для жидкостных ракетных двигателей.

Непрерывное детонационное горение можно использовать и в турбореактивных двигателях, заменив обычную жаровую трубу на детонационную. Как ожидается, это приведёт к повышению полного давления в детонационной камере сгорания и уменьшению расхода горючего приблизительно на 10–12%. Причём, если в традиционных камерах сгорания полное давление падает на 5–6%, то при детонации оно будет расти. Газодинамические расчёты показали, что нет никаких принципиальных препятствий для создания многорежимных детонационных камер сгорания для турбореактивных двигателей. Другое направление применения непрерывного детонационного горения — прямоточные двигатели для высокоскоростных летательных аппаратов. Расчётным путём и экспериментально показано, что при работе на водороде такие двигатели могут обеспечить атмосферный полёт аппаратов при числе Маха от 4 до 8.

Управляемое детонационное горение можно использовать для тонкой фрагментации вязких

жидкостей – тяжёлых фракций нефти и водно-угольных суспензий. Если модулировать детонационными волнами распыление обычной форсунки, которая даёт капли размером 500 мкм, то легко получаются капли размером 15–20 мкм, сгорающие голубым пламенем без всяких признаков сажеобразования.

Ещё одна область практического использования управляемого детонационного горения – переработка бытовых отходов. Недавно сотрудники ИХФ РАН приступили к разработке новой беспламенной технологии переработки твёрдых

бытовых отходов гипертермализованной водой, которая получается детонационным способом. При детонации образуется сверхперегретый водяной пар с температурой более 1700°C, который имеет очень большую реакционную способность и окисляет твёрдые бытовые отходы. В результате мы получаем множество полезных продуктов без каких-либо выбросов в атмосферу. Этот проект реализуется ИХФ РАН совместно с индустриальным партнёром института – ООО "Новые физические принципы" и холдингом "Пластметалл".

## SPEECH OF THE DOCTOR OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES S.M. FROLOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

*Keywords:* controlled detonation combustion, continuous detonation combustion, power plants, transport engines.