

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Чернухо Ивана Ивановича «ИМПУЛЬСНАЯ ДЕТОНАЦИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ В МАЛОРАЗМЕРНОЙ УСТАНОВКЕ РЕАКТИВНОГО ТИПА», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

В диссертационной работе И.И. Чернухо проведено экспериментальное исследование прототипа пульсирующего детонационного двигателя, работающего на жидком горючем (гептан и авиационный керосин) и окислителя в виде воздуха при нормальном атмосферном давлении. Для выполнения данной задачи была создана и отлажена малоразмерная импульсная детонационная установки (МИДУ).

Основные трудности в реализации детонационного сжигания смеси в предлагаемой МИДУ: 1) использование гетерогенной смеси жидкое горючее – воздух, 2) высокочастотный (до 80 Гц) импульсный режим работы установки, 3) субкритические размеры установки, то есть диаметр ствола меньше ожидаемого размера детонационной ячейки в выбранных смесях и длина перехода горения в детонацию (ПГД) больше длины ствола. Единственным выходом является использование пересжатых нестационарных детонационных волн, генерируемых при явлении ПГД.

Процесс ПГД может происходить по различным сценариям, в зависимости от условия инициирования горения и геометрии канала. Он также отличается крайней нестабильностью. Поэтому основным научным достижением соискателя и, конечно же, его научного руководителя д.т.н. Ассада Мохамад Сабетовича, является как успешная реализация такого капризного явления как ПГД для создания пересжатых ДВ, причем в высокочастотной детонационной установке, так и сама идея использовать нестационарные пересжатые ДВ в субкритическом канале для создания тяги.

В работе проведены многочисленные эксперименты по оптимизации устройства инициирования, создающего пересжатые ДВ в канале ствола. Найдены пути, сокращающие преддетонационный участок и время до ПГД, а именно: 1) обогащение смеси кислородом в предкамере, 2) нагрев ее стенок, 3)

установление в предкамере турбулизатора-ускорителя ПГД. При одновременном использовании этих факторов удалось получить стабильно повторяющийся режим ПГД для генерации пересжатых ДВ.

К заслугам автора работы также следует отнести тщательное изучение влияния начального химического состава реагирующей смеси (коэффициента избытка горючего, количество азота в смеси и т.д.) на характеристики ДВ и величину удельного импульса и тяги. Также подробно было исследовано влияние геометрии выходного сопла на величину реактивной тяги.

Проведенные экспериментальные исследования, несомненно, являются оригинальными, а результаты исследований новыми. Прделанная работа достаточно информативно отражена в соответствующих разделах Автореферата.

Имеется ряд замечаний и вопросов по тексту Автореферата и по сути проведенных исследований.

- 1) В главе 3 (стр 13 Автореферата) сравниваются экспериментальные значения скорости ДВ, полученные на различных базах датчиков, со скоростью Чепмена-Жуге D_{CJ} , рассчитанной в термодинамическом калькуляторе для данной смеси. Полученные значения ΔD как мне кажется, особого физического смысла не имеют, поскольку сравнивается средняя скорость нестационарной затухающей пересжатой ДВ на какой-то базе между датчиками со скоростью стационарной самоподдерживающейся ДВ в режиме Чепмена_Жуге. Сравнение экспериментальной скорости самоподдерживающейся ДВ в выбранном канале с D_{CJ} могло сказать об уровне потерь и идеальности детонации. Но в данном канале такой режим не реализуем. Поэтому данная величина ΔD , или отношение D_{exp}/D_{CJ} , больше характеризует эффективность работы предкамеры-ускорителя ПГД. Стоило бы подчеркнуть этот момент в тексте Автореферата.
- 2) Второй вопрос связан с первым. Расчет D_{CJ} осуществлялся для чисто газовой реагирующей смеси, в предположении полного испарения капель жидкого горючего? Есть какие-то экспериментальные доказательства, что смесь в канале ствола чисто газовая перед выстрелом? Ведь для гибридной смеси (газовая реагирующая смесь из

паров горючего+окислитель и оставшиеся капли горючего) скорость детонации $D_{СД}$ будет очевидно меньше, чем для чисто газовой (при одинаковом химическом составе).

- 3) В Главе 2 (стр 8 Автореферата) упоминается о двух типах поджига в предкамере: искровая свеча и факельное зажигание. В тексте Автореферата нет информации о том, какой вариант лучше для реализации ПГД. Были ли получены данные о сравнительной эффективности этих вариантов поджига?
- 4) На стр. 18 Автореферата, две последние строчки, написано (цитата) – «скорость и температура постепенно падают, что объясняется расширением газа по мере приближения к выходу в атмосферу». Не согласен с данным утверждением. Скорость ДВ в канале установки будет снижаться при любом внешнем давлении, даже при закрытом конце канала. Поскольку это свойство процесса ПГД, когда возникает сильная пересжатая ДВ, которая не самоподдерживающаяся, не стационарная, и по мере распространения по каналу снижает свою скорость до режима Чепмена-Жуге $D_{СД}$. Если конечно этот режим возможен при данном диаметре канала. Если же имеется ввиду изменение скорости ДВ из-за градиента (снижения) параметров исходной смеси по длине канала к его концу, возникающего при продувке свежей смесью ствола перед выстрелом – то с этим я согласен. Параметры ДВ зависят от начальной плотности и температуры смеси, хотя это влияние довольно слабое. В изучаемом процессе затухания ДВ имеют место оба этих явления. По видимому, здесь имеет место неточность формулировки высказывания.
- 5) В главе 5 описаны результаты численного моделирования в импульсной субкритической детонационной камере. Постановка численной задачи описана кратко и в общих чертах. Поэтому возникает много вопросов прежде всего к используемому программному коду SPPDC. Какие физические кинетики применялась для описания распыла капель из жидкой струи топлива и последующего испарения капель? Учитывалось ли дробление и слияние капель? Учитывалась ли турбулентность, и по каким моделям?

И конечно самый главный вопрос – какая химическая кинетика применялась для описания детонации углеводородных топлив?

Понятно, что соискатель является лишь пользователем уже готового программного пакета, и это вопросы больше к разработчикам пакета.

Но в связи с вопросом о детонационной кинетике возникает вопрос к результатам моделирования.

А именно, почему в двумерных расчетах не видно многофронтной (ячеистой) структуры ДВ? На начальном этапе ДВ сильно пересжата и поэтому детонационная ячейка может реально отсутствовать, или быть настолько мелкой, что не разрешается на используемой расчетной сетке. В численном моделировании это нормальная ситуация. Но по мере выхода ДВ из пересжатия поперечный размер детонационной ячейки растет и становится сравнимым с диаметром ствола или даже больше. Но на представленных рисунках фронт ДВ всегда гладкий, без поперечных волн на нем.

И второй вопрос – в решении каких именно проблем по организации работы МИДУ вклад результатов численного моделирования оказался решающим?

Высказанные замечания не снижают моей положительной оценки данной диссертационной работы. Хочу отметить, что соискатель в процессе работы над диссертацией освоил как экспериментальные методы исследования детонационных течений, так и методы многомерного численного моделирования реагирующих течений.

Считаю, что представленная работа Чернухо Ивана Ивановича соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и диссертант заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества»..

Кандидат физико-математических наук, и.о. заведующего Лабораторией газовой детонации Отдела быстропротекающих процессов ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева» СО РАН



Троцюк Анатолий Владиславович.

01.12.2023

Почтовый адрес организации: 630090 Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 15. Телефон и электронный адрес организации: +7-383-333-16-12, igil@hydro.nsc.ru

Я, Троцюк Анатолий Владиславович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Чернухо И.И. и их дальнейшую обработку, а также даю согласие на размещение отзыва в сети Интернет на сайте www.itmo.by учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси».

Подпись к.ф.-м.н. Троцюка Анатолия Владиславовича заверяю.

Ученый секретарь ИИГ СО РАН

к.ф.-м.н.



Хе Александр Канчевич

01.12.2023 г.

Отзывом ознакомлен 07.12.2023

