3. *Seeger K.* Semiconductor Physics: An Introduction, 6th ed. / *K. Seeger* - Springer, Berlin, 1997. - 605 p.
4. *Кучис Е.В.* Гальваномагнитные явления и методы их исследования / *Е.В. Кучис*. – М.: Радио и связь. – 1990. – 264 с.
5. *Nakamura D.* Thermoelectric properties for single crystal bismuth nanowires using a mean free path limitation model / *D.Nakamura, M. Murata, H. Yamamoto, Y. Hasegawa, T. Komine*// Journal of Applied Physics. – 2011. – V. 110. – P. 053702-1 – 053702-6.
6. *Lax B.* Infrared magnetoreflexion in bismuth. Highfields. / *B. Lax, J.G. Mavroides* , *H.J. Zeiger , R.J. Keyes* // Phys.Rev.Lett. – 1960. - V.5, nr.6. - P.241-246.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЕНИЯ СМЕСЕЙ ГЕПТАНА С КИСЛОРОДОМ И ВОЗДУХОМ В ДЕТОНАЦИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

И. И. Чернухо

Перспективы использования детонационного сгорания топлива, открытые в последние десятилетия, существенно повысили интерес к двигателям периодического сгорания [2]. Это можно объяснить тем, что в детонационных волнах процесс сгорания топливно–воздушных смесей осуществляется практически мгновенно, обеспечивая значительное повышение давления в камерах сгорания, имеющих форму полузамкнутого объема; при этом отпадает необходимость в выпускных клапанах.

Преимущества цикла с детонационным сгоранием топлива определяется тем, что этот цикл является более термодинамически эффективным, чем цикл с дефлаграционным сгоранием топлива. Различие этих двух циклов состоит в том, что подвод тепла в детонационном сгорании происходит не по изохоре, а по адиабате Гюгонио.

В связи с развитием исследований по возможности применения пульсирующего детонационного режима в ракетных двигателях представляет интерес исследования параметров детонационных волн в практически важных жидких топливах. Целью данной работы является исследование термодинамических характеристик (скорость ДВ, давление на фронте ДВ и сила тяги) пульсирующего детонационного режима в смесях гептана с кислородом и воздухом в широком диапазоне начальной температуры (T_0 = 16…110С) и коэффициента стехиометрии (ϕ = 0,8…1,9) в детонационной камере сгорания. В связи с этими исследованиями возникает перспектива реализации новых способов инициирования и стабилизации детонации в условиях ограниченного пространства камеры сгорания.

Для проведения исследований детонации в предварительно неперемешенной смеси гептана с воздухом и кислородом использовалась экспериментальная установка, представляющая собой систему из дето-

национной камеры сгорания, звуконепроницаемой комнаты, газовой панели и шкафа управления.

Детонационная камера сгорания представляет собой комплекс из камеры смешения и ударной трубы. Камера сгорания изготовлена из нержавеющей стали, ее общая длина равна 600 мм, а внутренний диаметр трубы – 20 мм. Она удерживается стойкой в положении маятника, благодаря чему может свободно перемещаться относительно нее. Тяговые характеристики регистрирует датчик тяги, который закреплен между задней стенкой камеры смешения и стойкой.

Компоненты смеси поступают в камеру смешения следующим образом. Кислород подаётся от стандартного 40 литрового баллона через понижающий редуктор на газовую панель, где проходя через ручной кран , 2 фильтра тонкой очистки, 2-х литровый ресивер, отсечной клапан, флоуметр и впускной клапан, попадает в камеру смешения ДКС. Гептан подается в магистраль из топливного бака объемом 3 литра, проходит через фильтр тонкой очистки топлива, насосы низкого и высокого давления и впрыскивается форсункой в камеру смешения. В воздушную магистраль включён компрессор, поддерживающий необходимое давление воздуха в 500 литровом ресивере. После него воздух 2-мя линейными фильтрами и сепаратором конденсата газа очищается и поступает на газовую панель, где также проходит через ручной кран, 2 фильтра тонкой очистки, 2-х литровый ресивер, отсечной клапан, флоуметр и впускной клапан.

Вдоль детонационной камеры сгорания расположены датчики давления и термопарный датчик. Распространения детонационной волны измерялось четырьмя датчиками давления с измерительными базами 155 мм и 100 мм соответственно. Зная расстояние между датчиками и изменения давления на фронте детонационной волны со временем, определялась средняя скорость распространения детонационной волны на базе. Регистрация динамики изменения температуры в различных сечениях осуществлялась термопарным датчиком.

Стехиометрия смеси определялась флоуметрами и форсункой, которые измеряют расходы каждого из компонентов смеси.

Была проведена серия из 23 экспериментов. Каждый эксперимент состоял из 20 импульсов с частотой 20 Гц. Компоненты смеси поступали в камеру смешения в широком диапазоне давлений ($P(C_7H_{16})$ = 0.5 МПа, $\Delta P(O_2)$ = [0.1-0.9] МПа, ΔP(Air) = [0.1-0.84] МПа). Быстрые электромагнитные клапаны и форсунка впрыскивали воздух, кислород и гептан в течение времени t ($t(C_7H_{16})$ = 35 мс, $t(O_2)$ = 35 мс, (воздух подавался непрерывно в течение каждого импульса). Поджиг смеси осуществлялся свечой зажигаания в течение времени t = 10 мс, разделенное временным интервалом Δt = 25 мс.

Полученные значения термодинамических характеристик пульсирующей детонации в смесях гептана с кислородом и воздухом усреднялись по максимальному значению. Экспериментальные данные аппроксимировались полиномиальными функциями 2-го, 3-го и 4-го порядка для определения зависимостей термодинамических характеристик от коэффициента стехиометрии и начальной температуры.

На рис. 1 приведена общая зависимость термодинамических характеристик от коэффициента стехиометрии.

Согласно результатам исследования было установлено, что устойчивый режим детонации смесей гептана с кислородом и воздухом осуществляется при ϕ = [0.90-1.20]. В области богатых смесей скорость волны падает и при ϕ > 1,8 режим становится дефлаграционным, т.е. имеет место обычное горение [1]. При этом с увеличением величины ϕ преддетонационное расстояние увеличивается с 250 мм до 550 мм.

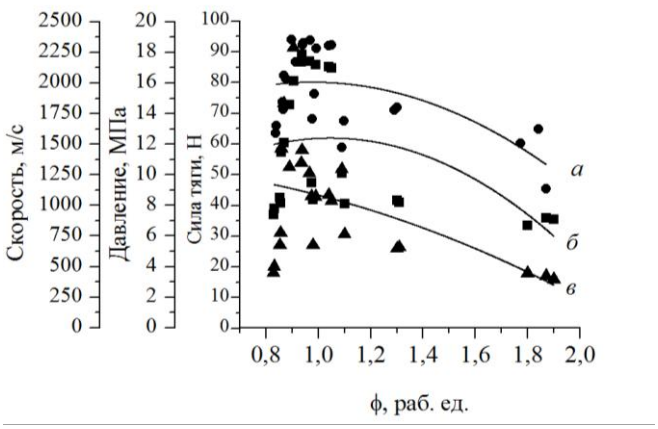

Рис. 1. Общая зависимость термодинамических характеристик от коэффициента стехиометрии: *а* – сила тяга, *б* – скорость, *в* - давление

Наступление детонации определяется достижением фронтом ударной волны скорости Чепмена-Жуге. Скорость детонации в точке Чепмена-Жуге для смесей гептана с воздухом и кислородом, при ϕ = 0.85 и ϕ = 1.1 равняется 1966 м/с соответственно. На рис. 2 и рис. 3 приведена общая зависимость термодинамических характеристик пульсирующей детонации в бедных и богатых смесях гептана с кислородом и воздухом от начальной температуры.

В приведенных экспериментах происходит переход горения в детонацию смеси гептана с воздухом, обогащенных кислородом, так как был преодолен скоростной рубеж. Из этого следует, что с повышением начальной температуры ($T_0 \geq 80$ °C) реализуется циклический режим детонации в бедных и богатых смесях гептана с воздухом, обогащенных кислородом (при ϕ = 0.80-1.20 и $T_0 \approx 85…100$ °C). При этом наблюдается существенное уменьшения преддетонационного расстояния.

Впервые реализован пульсирующий режим детонации в смесях гептана с воздухом, обогащенных кислородом, в малогабаритной камере сгорания (d = 20 мм, L = 600 мм) в широком диапазоне начальной тем-

пературы (T_0 = 16…110 °С) и коэффициента стехиометрии (ф = 0,8…1,9). Это дает основание полагать, что разработанная импульсная камеры сгорания служит базовой версией для двигателя нового поколения – детонационного двигателя. Установлено, что устойчивый режим детонации смесей гептана с кислородом и воздухом осуществляется при ф = [0.90-1.20]. Показано, что переход горения в детонацию имеет прямую зависимость от начальной температуры смеси [3]. Таким образом, можно заключить, что вклад коэффициента избытка горючего и начальной температуры смеси в переход горения в детонацию велик, что дает возможность для варьирования тяговыми характеристиками пульсирующего детонационного двигателя в широком диапазоне условий.

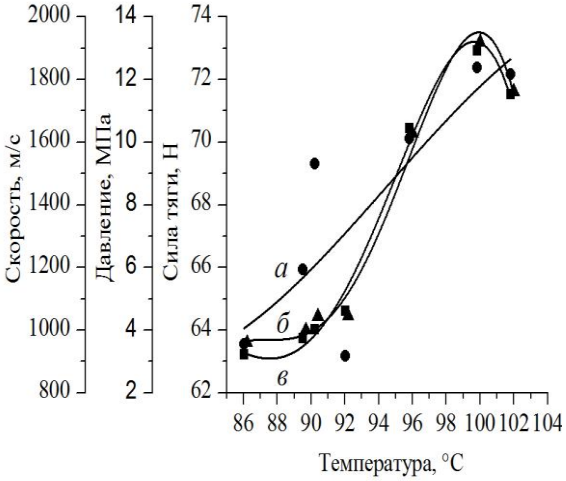

Рис. 2. Общая зависимость термодинамических характеристик пульсирующей детонации в бедных смесях гептана с кислородом и воздухом от начальной температуры: *а* – сила тяга, *б* – давление, *в* – скорость

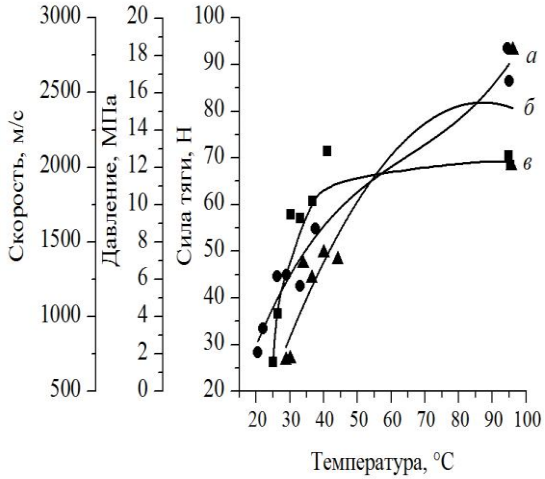

Рис. 3. Общая зависимость термодинамических характеристик пульсирующей детонации в богатых смесях гептана с кислородом и воздухом от начальной температуры: *а* – сила тяга, *б* – давление, *в* - скорость

Литература

1. *Ассад М.С., Пенязьков О.Г., Севрук К.Л., Чернухо И.И.* Скорость детонации в гептан-воздушных смесях, обогащенных кислородом, в малогабаритной трубе // Тепло- и массоперенос–2013. Минск: Институт тепло- и массобмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2014. – С. 184–189.
2. *Assad M.S., Penyazkov O.G.* Detonation in Heptane / Oxygen / Air Mixtures in a Pulsed Combustor // Proc. of 2013 International Autumn Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics (2013 IASPEP). September 24–27. – Chengdu, Sichuan Province, China, 2013. – P. 284–286.
3. *Sevrouk K.L., Assad M.S., Yaumenchykau M.L., Penyazkov O.G*. Detonation acceleration investigation in the pulsed combustor // XXVIII International Conference on Inter-

action of Intense Energy Fluxes with Matter. March 1-6, 2013, Elbrus, Russia. – Moscow, 2013. – P.89.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК мТГФХ В РАСТВОРАХ, БЕЛКАХ И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛАХ

И. В. Яковец, И. В. Янковский

ВВЕДЕНИЕ

Хлорины обладают оптимальными фотофизическими параметрами для применения в клинической практике в качестве фотодинамически активных соединений: высокий квантовый выход образования длительно живущего триплетного состояния, что обеспечивает эффективную генерацию синглетного кислорода, а также высокий коэффициент экстинкции в спектральном диапазоне, наиболее прозрачном для тканей. Одним из наиболее эффективных сенсибилизаторов для целей фотодинамической терапии является 5,10,15,20-Тетра-(*мета*-гидроксифе-нил)хлорин (мТГФХ), который по своей фотодинамической активности значительно превосходит большинство фотосенсибилизаторов второго поколения. Однако мТГФХ плохо растворяется в воде, что требует использования для введения в организм различных систем, например в смеси растворителей, полимеров, униламелярных липидных везикул (УЛВ). Для клинического использования важны методы контроля распределения мТГФХ между системами такого рода и биологическими структурами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали м-ТГФХ предоставленный Biolitec (Йена, Германия), эмбриональную сыворотку телят (ЭСТ), метил-β-циклодекстрин (м-β-ЦД) (Acros Organics, США). Липосомы готовили из дипальмитоилфосфатидилхолина методом экструзии.

Спектры возбуждения и флуоресценции исследовались на спектрофлуориметре Solar СМ-2203 (Минск, РБ). Спектры поглощения регистрировались с использованием спектрофотометра SOLAR PV 1251A (Минск, Беларусь).