

Разработки в области детонационных двигателей и эксперименты по горению жидких капель в условиях микрогравитации

Фролов С.М.², Пичугин С.Б.¹

²ИХФ РАН, г. Москва; ¹РКК «Энергия», г. Королёв

Теоретическое обоснование эффективности детонационных двигателей относят к пионерским работам академика АН СССР Я.Б. Зельдовича в 40-х годах XX века [1]. В РФ Институтом химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук (ИХФ РАН) разработаны образцы импульсно-детонационные двигателей (ИДД) и непрерывно-детонационных двигателей (НДД) для коррекции орбиты с тягой в диапазоне от десятков граммов до сотен килограммов. Совместно с ПАО ТМКБ «Союз» испытая метано-кислородный НДД, показавший удельный импульс на земле 270 с при давлении в камере

давления 32 атм [2]. Помимо этого, также, в РФ, Институтом гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского Отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН) совместно с НПО «Энергомаш», в рамках проекта «Ифрит» Фонда перспективных исследований, успешно испытаны два образца маршевого керосинно-кислородного НДД [3]. Остаётся открытым вопрос о том, как поведут себя такие двигатели в условиях микрогравитации и невесомости.

Для этого в 2017 г. на МКС проводился космический эксперимент (КЭ) «Зарево» («Cool Flame Investigation», CFI) Постановщиком КЭ являлось ФГУП ЦНИИМаш. В КЭ участвовали американские (НАСА и ряд университетов) и российские специалисты (от ЦАО «РКК «Энергия» и ИХФ РАН) [4, 5].

В эксперименте исследовалось горение капель углеводородных горючих в условиях микрогравитации. Уже на этапе предварительного анализа удалось получить важную информацию по способам фиксации капли в объёме камеры сгорания при изменении давления, по стадиям процесса горения капли и по характеристикам данных стадий (температуре, сажеобразованию и т.д.).

Литература:

1. Зельдович Я. Б. К вопросу об энергетическом использовании детонационного горения // Журн. техн. физики — 1940. — Т. 10, вып. 17. — С. 1455–1461.
2. С. М. Фролов, В. С. Аксенов, П. А. Гусев, В. С. Иванов, С. Н. Медведев и О. Шамин. Экспериментальные исследования стендовых образцов двигателей с непрерывно-детонационными камерами сгорания // Горение и взрыв, 2015. Том 8, № 1, с. 151-163.
3. Российский ракетный детонационный двигатель назвали в честь демона огня // электронный ресурс ТАСС, опубликовано 11 ноября 2016, 14:52, <http://tass.ru/armiya-i-opk/3776698>
4. Эксперимент «Зарево» // электронный ресурс Координационного научно-технического совета по программам научно-прикладных исследований и экспериментов на пилотируемых космических комплексах, http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment_q.aspx?idE=331
5. Российские космонавты устроят поджог на МКС // электронный ресурс «Brain Team», опубликовано 17.11.2016, <http://brainteam.ru/российские-космонавты-устроят-поджог/>.

R&D in detonation engines and droplet combustion in microgravity experiment

Frolov S.M.², Pichugin S.B.¹

ICP RAS, Moscow; RSC “Energia”, Korolev

Theoretical basis on detonation engines was laid by Yan Zeldovich, a USSR academician in early 40-th of XX century [1].

At Russian Academy of Science N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, RAS (CHPH) succeed in development of pulse detonation engines (PDE) and rotating detonation engines (RDE) for orbital maneuvering with propulsion ranged within dozens of grams to hundreds of kilos. They, in alliance with Turayev design bureau “Soyuz” (ТМКБ “Soyuz”, Ltd.), successfully tested engine, which has shown in the ground tests specific impulse of 270 seconds at 32 atmospheres of pressure in combustion chamber. Also at Russian Academy of Science Lavrentyev Institute of Hydrodynamics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (LIH), in alliance with V. P. Glushko NPO Energomash (NPO Energomash, Ltd.) and supported by Advanced Research Fund, have successfully tested two detonation sustainer engines in project named “Ifrit”. So ground tests show high efficiency in ground tests, but still, it is unclear, how they can operate in microgravity and weightlessness in space.

To clarify that, joint US–Russian space experiment, named Cool Flames Investigation (CFI, or, in Russian, Zarevo), was launched in 2017 on board of ISS. Principal was Central Engineering Research Institute TsNIIMash (“TsNIIMash”). Participants on US Side were NASA and US universities University of California at San Diego (UCSD), University of South Carolina (USC). On the Russian side S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (RSC Energia) and CHPH participated in the investigation.

Process of combustion of droplets of heavy hydrocarbon fuels in microgravity was investigated. The investigation gave new knowledge on how combustion processes can be improved for future PDE-RDEs, and, besides, how to protect ISS against flames on its board.

The results of CFI are still in progress, and at present, it is clear that important knowledge is received on how to fix the drop in chamber when pressure raises, on which stages are in droplet combustion, what are their characteristics, etc.

References:

1. Zeldovich Ya. B. On an issue related to energetical usage of detonative combustion // *Tech. Phys. Proc.* — 1940. — V. 10, edition. 17. — pp. 1455–1461.
2. S. M. Frolov, V. S. Aksyonov, P. A. Gusev, V. S. Ivanov, S. N. Medvedev, I. O. Shamshin. Research of Sample Engines with RDE Chambers // *Combustion and Explosion Proc.*, 2015. V. 8, № 1. pp. 151-163.
3. Russian Rocket Detonation Engine is named for Flame Daemon // site of TASS, pub. Nov 11 2016, 14:52, <http://tass.ru/armiya-i-opk/3776698>
4. Experiment "Zarevo" // site of TSNIMASH KNTS, http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment_q.asp?idE=331
5. Russian Cosmonauts will set fire on board of ISS // site "Brain Team", pub. 17.11.2016, <http://brainteam.ru/российские-космонавты-устроят-поджо/>.

Моделирование охлаждения космической ядерной энергетической установки с шаровыми тепловыделяющими элементами

Ромашова М.О., Платонов Н.М.
МАИ, г. Москва

Стандартный тепловыделяющий элемент в ядерной установке представляет собой сборку из стержней. Однако, более интересной формой тепловыделяющего элемента является сфера. В связи с неконвенциональной геометрией возникают сложности с организацией теплообмена между теплоносителем и тепловыделяющей поверхностью. В данном исследовании рассматривалась конструкция, которая представляет собой соосно расположенные цилиндры, между которыми находятся шаровые тепловыделяющие элементы. Газовый теплоноситель поступает в раздаточный коллектор, обтекает тепловыделяющие элементы, а затем выходит из сборного коллектора. Целью работы являлось определение температурных полей в кольцевой тепловыделяющей сборке с шаровыми тепловыделяющими элементами в космической ядерной энергетической установке, а также поиск вариантов интенсификации теплообмена. Последнее зависит от множества факторов: площади тепловыделяющей поверхности, геометрических параметров коллектора, свойств теплоносителя, а также организации его движения.

Использование численного моделирования позволило оценить распределение полей температуры, скорости и давления, а также определить влияние расположения тепловыделяющих элементов на теплоотдачу. Валидация расчетов проводилась по известным экспериментам, при этом, сравнение результатов численного моделирования и эксперимента показало достаточную точность.

При математическом моделировании рассматривались различные варианты организации обтекания тепловыделяющих элементов потоком газа. Как показывают проведенные расчеты, выбор правильного соотношения геометрических параметров тепловыделяющих элементов и их расположение в активной зоне, а также интенсификация теплообмена позволяет обеспечить высокую энергетическую эффективность ядерной энергоустановки.

1. Дзюбенко Б.В., Мякочин А.С., Сегаль М.Д., Смирнов Л.П. «Моделирование теплообмена в тепловыделяющей сборке с шаровыми твэлами при продольно-поперечном течении газа в космической ядерной энергетической установке». *Тепловые процессы в технике*. 2011. Т.3.№1. С. 2-8.