

МИНОБРНАУКИ РФ  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета  
Физико-технический факультет  
Механико-математический факультет  
Совет молодых учёных ТГУ

**Международная молодежная научная конференция**  
**«Актуальные проблемы современной механики**  
**сплошных сред и небесной механики»**  
17–19 ноября 2014 г., Томск

**International Youth Scientific Conference**  
**«Current issues of**  
**continuum mechanics and celestial mechanics – 2014»,**  
17–19 November, 2014



Томск-2014

2. Бовсуновский А.Б., Бутов В.Г., Кулешов А.А., Солоненко В.А., Яцук А.А. Система мониторинга причальной конструкции // Изв. вузов. Физика. Томск, 2013. №7/3. С. 137–139.

. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2005. 23 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ EXPERIMENTAL STUDY OF GAS DYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN A BODY OF COMPLEX SHAPE HIGH FLOW**

<sup>1,2</sup> С.Б. Маслов, <sup>2</sup> В.А. Архипов, <sup>2</sup> В.В. Фарапонов, <sup>2</sup> И.К. Жарова

<sup>1,2</sup> E.A. Maslov, <sup>2</sup> V.A. Archipov, <sup>2</sup> V.V. Farapov, <sup>2</sup> I.K. Zharova

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики  
Томского государственного университета

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

<sup>2</sup>Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University  
maslov\_eugene@mail.ru

Ключевым направлением в повышении дальности и скорости полета летательных аппаратов (ЛА) с внутриатмосферной зоной эксплуатации является применение прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД). Любой воздушно-реактивный двигатель имеет воздухозаборное устройство и выходное сопло для выпуска рабочих газов, сила реакции которых создает рабочую тягу.

Прямоточные воздушно-реактивные двигатели имеют входной диффузор, камеру сгорания с горючим, воспламенительные устройства, стабилизаторы пламени и выходное сопло. Сжатие воздуха в диффузоре ПВРД происходит за счет его кинетической энергии, вследствие чего ПВРД могут работать только в потоке воздуха. Набегающий поток воздуха поступает в расширяющийся диффузор и частично теряет скорость. Давление, плотность и температура на входе в диффузор повышаются и тем больше, чем больше начальная скорость потока. Поджатый в диффузоре воздух поступает в камеру сгорания и смешивается с продуктами газификации горючего, имеющими недостаток окислителя. При сгорании образовавшейся газовой смеси энтальпия возрастает, а давление незначительно уменьшается. Продукты сгорания истекают из выходного сопла со скоростью, большей скорости набегающего потока.

При полете ЛА со скоростью, в три раза превышающей скорость звука, давление в камере ПВРД может повыситься примерно в 25 раз. При скоростях, меньших примерно половины скорости звука, повышение

давления за счет торможения набегающего потока в диффузоре незначительно (не более, чем на 20 %), свободная энергия горячих газов мала, и в кинетическую энергию преобразуется лишь малая часть энтальпии продуктов сгорания. Вследствие этого при малых скоростях (числах Маха  $M < 0.5$ ) ПВРД неэффективен.

Одним из способов повышения эффективности ПВРД является подогрев поступающего в диффузор воздуха, вследствие чего давление в прямоточном двигателе заметно повышается. При этом за счет потерь энергии на трение и удары скорость истечения меньше скорости воздуха на входе в диффузор и на двигатель действует только сила аэродинамического сопротивления. При скоростях полета, превышающих скорость звука более, чем в три раза, прямоточные двигатели оказываются более экономичными, чем какие-либо другие двигательные установки. В ракетно-прямоточных двигателях в качестве источника тепловой энергии могут применяться жидкие, твердые, пастообразные и порошкообразные топлива.

В ПВРД горючее выбирается по теплоте сгорания, стоимости и эксплуатационным характеристикам. Высокая баллистическая эффективность твердых горючих материалов (ТГМ) может быть достигнута путем использования компонентов с высокой плотностью, при горении которых выделяется максимальное количество теплоты, а в продуктах сгорания преобладает доля легких двухатомных газов. Однако при разработке оптимальных композиций ТГМ, обладающих указанными свойствами, необходимо учитывать накладываемое на содержание горючего-связующего ограничение: объемная доля горючего-связующего в составе композиции не должна быть ниже величины, обеспечивающей возможность изготовления заряда с требуемыми физико-механическими характеристиками. Разработка ТГМ с высокой теплотворной способностью и скоростью газификации при обдуве ТГМ дозвуковым и сверхзвуковым потоками воздуха является актуальной задачей.

Не менее актуальна задача моделирования нестационарных процессов в проточном тракте ГПВРД, снабженном зарядом ТГМ. Математическое моделирование течения в моделях ГПВРД позволяет уже на этапе проектирования определить структуру потока и распределения газодинамических параметров (давление, скорость, температура) по каналу модели с учетом газификации ТГМ и изменения геометрических параметров канала вследствие выгорания ТГМ. Для построения адекватных математических моделей получение объективной экспериментальной информации о газодинамике и теплообмене при течении газового потока в канале образца ТГМ в диапазоне чисел Маха  $M = 0.2 \div 6.0$ .

Для экспериментального исследования структуры потока в канале сложной формы разработаны плоская и осесимметричная модели ГПВРД и проведены испытания в рассматриваемом диапазоне чисел Маха на

модернизированной аэродинамической установке. В процессе испытаний разработанных моделей ГПВРД получена информация о полях скоростей, температуры и давления.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грант РФФИ № 14-38-50592-мол\_НР.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЛЬДА THE INVESTIGATION OF THE ICE UNDER EXPLOSIVE LOADING**

<sup>1</sup>М.Ю. Орлов, <sup>2</sup>Л.С. Кружка,

<sup>1</sup>M.Yu. Orlov, <sup>2</sup>L.S. Kruzka

Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики

Томского государственного университета

Военно-технологическая академия им. Я. Домбровского,

Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk State University

Military University of Technology, Poland

orloff\_m@mail.ru

The research of the behavior of certain natural materials are now relevant. This is due to the development of the northern territories, the extraction of natural resources in the Far North, etc. Currently, few works were devoted to this scientific problem (Carney K.S. et al. 2006; Combescure A et al. 2011; Sherburn A. et al. 2010; Gorelski V.A. et al. 2012; Orlov M. Yu. et al. 2014). It is known that many natural materials under certain conditions have a common mechanism of destruction.

Ice is a little known natural material. The modern concept of failure the ice are just beginning to develop. This is due to the complex structure of the ice, the presence of phase transitions during deformation, unique plastic properties. There are over 16 types of ice, the latter type of ice has an extraterrestrial origin. In the United States resumed the program “SCICEX” within which there is a collection of scientific data using the ships of the Navy. The existing experimental data on dynamic loading of ice is not consistent with each other due to the complex structure of ice. Experimental data on explosive loading of ice were not found.

In laboratory 21 of the Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics at Tomsk State University has developed a new physical-mathematical model of ice behavior under the shock and explosive loads, a numerical method to calculate its stress-strain state with allowance for its fragmental failure (Glazyrin V.P. et al. 2006;). Also the scientific data (theoretical and experimental) on the behavior of polycrystalline ice under shock and explosion have been summarized. Was modified numerical method for the calculation of explosive loading of ice for the problems of explosive destruction of thick ice (2 meters). For the development of a numerical method requires