



МИНОБРНАУКИ РФ
Национальный исследовательский
Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики
Томского государственного университета
Физико-технический факультет



**Материалы XI Всероссийской научной конференции
с международным участием
«Актуальные проблемы современной механики сплошных сред
и небесной механики – 2021»**

г. Томск, 17–21 ноября 2021 г.

**Proceedings of the XI All-Russian Scientific Conference with international
participation «Current issues of continuum mechanics and celestial
mechanics – 2021», November, 17–21, 2021**

Томск-2022

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22.251.22.62
М43

Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием М43 «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики» 17–21 ноября 2021 г.: Материалы конференции / под ред. М.Ю. Орлова. – Томск. 2022. – 414 с.

ISBN 978-5-6047451-2-0

Представлены материалы конференции молодых ученых «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики», прошедшей 17–21 ноября 2021 г.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22.251.22.62

ISBN 978-5-6047451-2-0

© Томский государственный университет, 2022

Editor
Maxim Yu. Orlov
National Research Tomsk State University
Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics
36 Lenin prospect
Tomsk, 634050
Tomsk Region
Russian Federation

E-mail: orloff_m@mail.ru

To learn more about the Conference Proceeding, please visit the webpage:
www.cimcm.tsu.ru

Proceedings of the XI All-Russian Scientific Conference with international participation «Current issues of continuum mechanics and celestial mechanics – 2021», November, 17–21, 2021



EDITOR
Maxim Yu. Orlov
National Research Tomsk State
University
Research Institute of Applied
Mathematics and Mechanics of Tomsk
State University
Tomsk, Russia

Sponsoring organizations

The Ministry of Education and Science Russia
Russian Fund of Basic Research
National Research Tomsk State University

© Tomsk State University
Printed in the Russian Federation

Proceedings of the XI All-Russian Scientific Conference with international participation «Current issues of continuum mechanics and celestial mechanics – 2021», November, 17–21, 2021. The conference proceedings / ed. M.Yu. Orlov. – Tomsk. 2022. – 414 p.

ISBN 978-5-6047451-2-0

For scientific worker, the teachers, graduate student and students.

© Tomsk State University, 2022

Литература

1. Маслов Е.А., Савкина Н.В., Скибина Н.П., Фарапонов В.В. Численный расчет аэродинамических и газодинамических параметров обтекания тела сверхзвуковым потоком при наличии локального вдува газа в пограничный слой // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики. 2018: VIII Всероссийская молодежная конференция, г. Томск, 26–28 ноября 2018 г. / под ред. М.Ю. Орлова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2019. 134 с. (Труды Томского государственного уни-верситета. Серия физико-математическая, Т. 303). DOI: 10.17223.978-5-7511-2582-0/2.
2. Звезгинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. Ч. I: Установки для научных исследований. Новосибирск: Параллель, 2014. 551 с.
3. Носатов В.В., Семенёв П.А. Расчетно-экспериментальное исследование сверхзвукового турбулентного отрывного течения и локальной теплоотдачи в плоском канале с внезапным расширением // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2014. №. 1 (52).
4. Чжен П., Голубинский А.И. Отрывные течения / пер. с англ. М.: Мир, 1972. Т. 1.
5. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2009.

References

1. Maslov E.A., Savkina N.V., Skibina N.P., Faraponov V.V. Numerical calculation of aerodynamic and gas-dynamic parameters of a supersonic flow around a body with local injection into the boundary layer // Works of Tomsk State University / Physical and Mathematical Series. 2019. T 78. Vol. 303: Current Issues of Continuum Mechanics and Celestial Mechanics / ed. by M. Orlov. Tomsk: Tomsk State University Publishig House. P. 24–33. DOI: 10.17223.978-5-7511-2582-0/2
2. Zvegintsev V.I. Gas dynamic installation of short duration. Part I: Installations for scientific research. Novosibirsk: Parallel, 2014. 551 p.
3. Nosatov V.V., Semenev P.A. Computational and experimental study of supersonic separated turbulent flow and local heat transfer in a flat channel with a sudden expansion // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya «Estestvennye nauki». 2014. №. 1 (52).
4. Chang P.K. Separation of flow. Elsevier, 2014.
5. Snegirev A.Y. High-performance computing in engineering physics. Numerical simulation of turbulent flows: Proc. allowance. SPb.: Publishing house of the Polytechnic. University Press, 2009.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ УДЛИНЕННЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ ТЕЛ В ВОДЕ

А.С. Дьячковский, А.Н. Ищенко, В.В. Буркин, А.В. Чупашев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
E-mail: Lex_okha@mail.ru

Ключевые слова: движение в воде, суперкавитирующий ударник, суперкаверна, высокоскоростная видеосъемка.

Аннотация: Выполнен анализ высокоскоростного движения в воде суперкавитирующих ударников. Показано определяющее влияние массы исследуемых ударников на дальность их движения в воде и отклонение траектории их движения от оси прицеливания при групповом старте. На основе сравнения геометрических характеристик суперкаверн, формирующихся при движении одного или двух ударников, определены характерные дистанции, на которых наблюдается минимальное взаимовлияние ударников друг на друга.

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF HIGH-SPEED MOTION OF ELONGATED KINETIC BODIES IN WATER

A. Diachkovskiy, A. Ishchenko, V. Burkin, A. Chupachev

National Research Tomsk State University, Russian Federation
E-mail: Lex_okha@mail.ru

Keywords: Movement in water, supercavitating striker, supercavern, high speed video.

Abstract. The analysis of high-speed motion of supercavitating strikers in water is carried out. The decisive influence of the mass of the investigated strikers on the range of their movement in water and the deviation of the trajectory of their movement from the aiming axis during a group launch is shown. On the basis of a comparison of the geometric characteristics of supercavern formed when one or two strikers move, the characteristic distances are determined at which the minimum mutual influence of the strikers on each other is observed.

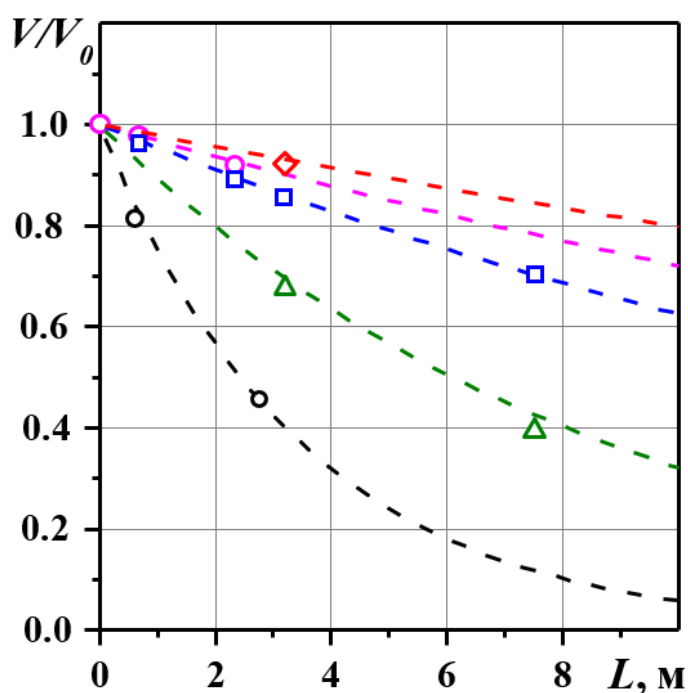
В исследовании рассматривается высокоскоростное движение в воде удлиненных осесимметричных инертных моделей близкой к конической форме. Так как конструкция модели не подразумевает наличие какого-либо двигателя, движение происходит за счет запаса кинетической энергии, приобретенной в процессе ускорения по каналу ствола. Существенного снижения тормозящего воздействия со стороны воды удается достичь благодаря явлению кавитации, которое в случае высокоскоростного движения моделей на скорости свыше 100 м/с приводит к образованию в воде разреженных полостей – суперкаверн [1–3]. Внешний вид суперкавитирующего ударника и пример его движения в воде в режиме суперкавитации показан на рис. 1, а.

Изготовление геометрии контура модели с учетом формы образуемой суперкаверны позволяет на порядки сократить поверхность контакта модели с водой [4–6]. При этом поверхность взаимодействия модели с водой обычно происходит только в носовой части. Такую поверхность называют кавитатором. При движении модели в суперкаверне, возможно достичь стабилизации ее движения по траектории за счет глиссирования о стенки каверны. Внутренняя поверхность суперкаверны практически неподвижна относительно поступательно движущегося корпуса модели, гидроупругое взаимодействие боковой поверхности модели с внутренней поверхностью полости в случае их контакта ограничивает пространственный угол атаки модели. Актуальность работы по исследованию высокоскоростного движения кинетических моделей в воде обусловлена развитием современных средств контроля и визуализации позволяющим в динамике изучать процессы, сопровождающие данное явление, для уточнения имеющихся математических моделей.

Целью данной работы является исследование высокоскоростного движения в воде одиночных и группы осесимметричных удлиненных моделей, изготовленных из различных сплавов в режиме суперкавитации. Ускорение моделей производится в метаемых сборках с отделяемыми ведущими

устройствами из пороховой гладствольной баллистической установки (рис. 1, а).

Движение моделей в воде исследуется на гидробаллистической трассе длиной до 12 м, что достаточно для исследования зависимости скорости от пути в воде и сравнения этих данных с расчетными. Проводится сравнение полученных экспериментальных и расчетных данных по изменению скорости моделей, траекториям их движения в воде и форме кавитационной полости для моделей различных масс. Представление о том, как изменяется скорость модели по мере ее перемещения в воде и о том, когда суперкавитирующий режим прекратится, дает возможность в первом приближении оценивать перспективную дальность движения различных моделей в режиме суперкавитации под водой.



расчет: - - - - -;

эксперимент: \diamond – $m = 56$ г, \circ – $m = 37$ г, \square – $m = 27$ г, Δ – $m = 12$ г, \circ – $m = 4$ г

Рис. 1. Зависимость скорости модели от пути в воде для радиуса кавитатора 1 мм

На рис. 1, б приведены экспериментальные и расчетные данные по изменению скорости для моделей в воде с радиусом кавитатора 1 мм и массами от 4 до 56 г.

В расчетах предполагается, что взаимодействие модели с водой происходит только по поверхности кавитатора. Расчет падения скорости производился по формуле

$$V = e^{\ln V_0 - Sk}$$

где $k = \frac{\pi \rho C_x R_n^2}{2m}$; $C_x = 0.82$, m – масса модели; R_n – радиус кавитатора; S – путь в воде; V_0 – начальная скорость.

Дополнительное взаимодействие модели малой массы (т.е. с низким запасом кинетической энергии) с каверной оказывает на нее сильное тормозящее воздействие.

В результате работы получено, что одним из основных факторов, влияющих на дальность суперкавитирующего движения в воде, является начальная скорость модели. Эксперименты, проведенные на гидробаллистической трассе, показали, возможность движения в воде стальных моделей со скоростями до 1000 м/с, дальнейшее увеличение скорости приводит их деформация или разрушению на траектории. Применение более прочных сплавов, например, ВНЖ, позволило реализовать движение со скоростью звука в воде около 1500 м/с.

В экспериментах получено, что при одновременном движении двух суперкавитирующих ударников из сплава ВНЖ расхождение между ними меньше чем при движении стальных или изготовленных из сплава алюминия на аналогичной дистанции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-19-00233).

Литература

1. Логвинович Г.В. Гидродинамика течений со свободными границами. Киев: Наук. думка, 1969. 208 с.
2. Савченко Ю.Н., Семенов В.Н., Путилин С.И. Нестационарные процессы при суперкавитационном движении тел // Прикладная гидромеханика. Киев, 1999. Т. 73, № 1, С. 79–97.
3. Федоров С.В., Велданов В.А. К определению размеров кавитационной полости в воде за движущимся с высокой скоростью цилиндрическим телом // ЖТФ. 2013. Т. 83. В. 2. С. 15–20. (<https://journals.ioffe.ru/articles/10815>).
4. Васин А.Д. Задачи гидродинамики и гидроупругости высокоскоростного движения в воде: дис. д-ра техн. наук. М.: Гос. науч.-иссл. Центр ЦАГИ, 1999. 282 с.
5. Шахтин А.А. Численный метод расчета суперкаверн. Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. Т. 2. №22. С. 105–109.
6. Ищенко А.Н., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Чупашев А.В. Исследование параметров движения инертных конических моделей в воде // Вестник Томского государственного университета. Математика и Механика. 2021. № 71. С. 78–79.

References

1. Logvinovich G.V. Hydrodynamics of flows with free boundaries. Kiev: Naukova dumka, 1969. 208 p. (in Rus.).
2. Savchenko Yu.N., Semenenko V.N., Putilin S.I. Unsteady processes during supercavitating body motion. // J. Applied Hydromechanics. 1999. Vol. 1, N 1. P. 79–97 (in Rus.).
3. Fedorov S.V., Veldanov V.A. Determination of the dimension of a cavity in water behind a fast-moving cylindrical body // Technical Physics // The Russian Journal of Applied Physics. 2013. Vol. 58, Issue 2. P. 165–169.
4. Vasin A.D. Problems of Hydrodynamics and Hydroelasticity at High Speed Body Motion in Water, Dissertation for a doctor's degree, TsAGI, Moscow, 1999, 282 p. (in Rus.)

5. *Shahtin A.A.* Numerical method for calculating supercaverns // Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and Mechanics. 2013. Vol. 2. No. 22. P. 105–109. (in Rus.)

6. *Ishchenko A.N., Burkin V.V., D'yachkovskiy A.S., Chupashev A.V.* Investigation of underwater motion parameters for inert conical models // Vestn. Tomsk. Univ. Mat. Mekh., 2021, no. 71, 78–89. (in Rus.)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОПЛИВА НА ВОЗМОЖНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА МАЛОРАЗМЕРНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

М.О. Енков¹, Т.И. Горбенко¹, М.В. Горбенко²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

E-mail: enkov_maksim@mail.ru

Ключевые слова: смесевые композиции, удельный импульс, термодинамический расчет, тяга двигателя.

Аннотация. Выполнены термодинамические расчеты энергетических характеристик смесевых композиций (СК), содержащих AlB_{12} , Mg и Si, для прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД). Проведена оценка влияния состава смесевых композиций на дальность полета летательного аппарата (ЛА) при различных начальных условиях. Расчет дальности полета осуществлялся численным интегрированием уравнений динамики полета. Установлено, что применение СК, содержащих Mg, обеспечивает значительное повышение баллистических характеристик ЛА по отношению к СК, содержащим Si. Получено, что повышение значений тяги и угла бросания до 45° приводит к увеличению параметров времени полета, дальности полета и максимальной высоты полета ЛА.

STUDY OF THE INFLUENCE OF FUEL ON THE POSSIBILITY OF INCREASING THE FLIGHT RANGE OF A SMALL AIRCRAFT

M. Enkov¹, T. Gorbenko¹, M. Gorbenko²

¹National research Tomsk State University, Russian Federation

²National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation

E-mail: enkov_maksim@mail.ru

Keywords: mixed compositions, specific impulse, thermodynamic calculation, engine thrust.

Abstract. Thermodynamic calculations of the energy characteristics of mixed compositions (MC) containing AlB_{12} , Mg and Si for a ramjet engine have been carried out. An estimation of the influence of the substance composition on the aircraft (AC) flight range under various initial conditions has been carried out. The calculation of the flight range was carried out by numerical integration of the equations of flight dynamics. It has been established that the use of MC containing Mg provides a significant increase in the ballistic characteristics of aircraft as compared to compositions containing Si. It was found that an increase in thrust and launch angle up to 45° leads to increase in the parameters of flight time, flight range and maximum flight altitude of the aircraft.

В настоящее время активно ведутся исследования по увеличению дальности полета малоразмерного летательного аппарата за счет использования