

Выводы

Разработана методика расчета гидродинамических процессов взаимодействия теплоносителя с прутком в спрейерной камере. Параметрическое исследование влияния конструктивных элементов спрейера на гидродинамику процесса осуществлялось с использованием программного комплекса ANSYS-FLUX. На основании анализа результатов сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что при подводе теплоносителя к поверхности прутка через одну форсунку при скорости впрыска в интервале $v = 0,5-9$ м/с величина $K_{\text{оп}} \leq 0,36$. При $v > 1$ м/с коэффициент $K_{\text{оп}} \approx 0,28 = \text{const}$.

2. Максимальная величина коэффициента обтекания поверхности прутка при впрыске теплоносителя через две форсунки $K_{\text{оп}} = 0,97$ ($\psi = 60^\circ$, $R = 100$ мм), через три – $K_{\text{оп}} = 1$ ($\psi = 70^\circ$, $R = 55$ мм).

3. Выявлено, что при подводе теплоносителя через одну форсунку максимальное значение $K_{\text{оп}} = 0,36$ ($v = 0,5$ м/с), две форсунки – $K_{\text{оп}} = 0,98$ ($v = 9$ м/с), три форсунки $K_{\text{оп}} = 1$ ($v = 3,25$ м/с).

Библиографические ссылки

1. Концепция формирования Государственной комплексной программы развития машиностроения России. –

URL: <http://www.soyuzmash.ru/informcenter/concept/concept.htm> (дата обращения: 21.07.2012).

2. Моренко И. В., Федяев В. Л. Влияние турбулентности потока вязкой жидкости на гидродинамические характеристики и теплообмен обтекаемых тел // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 7–8. – С. 36–45.

3. Давлетишин И. А., Михеев Н. И., Молочников В. М. Отрыв пульсирующего потока // Докл. Акад. наук. – 2007. – Т. 417, № 6. – С. 760–763.

4. Перепелица Б. В., Шестаков М. В. Пространственная структура потока при истечении круглой струи в узкий канал // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т. 16, № 1. – С. 57–60.

5. Терехов В. И., Пахомов М. А. Численное исследование гидродинамики и теплопереноса в осесимметричной турбулентной газодисперсной струе // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. – 2009. – № 5. – С. 131–141.

6. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на свойства жаропрочности сплава ХН77ТЮР / В. Д. Садовский, Е. Н. Соколов, С. Н. Петрова и др. // Физика металлов и металловедение. – 1964. – Т. 17, № 6. – С. 845–852.

7. Смирнов М. А., Петрова С. Н., Смирнов Л. В. Высокотемпературная термомеханическая обработка и хрупкость сталей и сплавов. – М.: Наука, 1991. – 167 с.

8. Тонков Л. Е. Численное моделирование динамики капли вязкой жидкости методом функции уровня // Вестн. Удмурт. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 134–140.

B. Ya. Bendersky, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

K. A. Kopylov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Choice of conditions for heat carrier injection by spraying at spring production by high-temperature thermo-mechanical treatment

The interaction between the surface of the spring rod and the heat carrier was modeled. The effect of injection parameters on flow modes was investigated. It was revealed that the maximum contact between the surface of the bar and the heat carrier is achieved at the rate of flow over the surface = 1, which is provided by the injection speed $v \geq 3.25$ m/s with three jets, at an angle $\psi = 70^\circ$.

Keywords: hydrodynamics, surface flow, rod, spring, chamber of spray, coefficient of flow

Получено: 21.11.12

УДК 517.958:52/59

Ю. В. Ганзий, аспирант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОБАЛЛИСТИКИ НИЗКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ*

Работа посвящена определению аэробаллистических параметров низкоскоростных летательных объектов при помощи математического моделирования.

Ключевые слова: аэродинамика, математическое моделирование, коэффициент лобового сопротивления, аэробаллистические параметры

1. Проблематика исторической реконструкции

Математическое моделирование активно используется для решения широкого круга задач в области технических, естественно-научных и гуманитарных наук. Развитие вычислительной техники, а также

численных методов позволяют разрабатывать математические модели процессов, о котором мы в настоящее время еще не имеем полного представления, и тогда моделирование может выступить как мощное гносеологическое оружие. В данной работе автор

остановился на математическом моделировании аэробаллистики низкоскоростных летательных объектов – исследование на стыке двух областей: аэробаллистики и истории.

Актуальность темы несомненна для истории, поскольку систематически и комплексно человек научился определять аэробаллистические характеристики метательного оружия лишь во второй половине XIX в. Все исторические сведения о ранних системах чрезвычайно фрагментарны. Эксперименты с репликами старого оружия также не могут дать научно обоснованный результат, поскольку эти самые реплики изготавливаются на современном оборудовании с использованием существующих технологических приемов и потому могут считаться аналогами древнего оружия лишь весьма условно. Поэтому для получения адекватного результата необходимо так огрубить конечный продукт (реплику оружия), чтобы даже с использованием современных материалов и технологий он соответствовал оригиналу по аэробаллистическим параметрам. А научно обоснованный ответ на этот вопрос может дать лишь адекватная математическая модель.

В связи с этим выбор в качестве объекта исследования исторической информации (об аэробаллистике низкоскоростных элементов метательного оружия, представленной в виде эклектичных и противоречивых массивов данных) и методов по определению их объективного содержания, а также реализация этих методов в виде специализированных комплексов программ для проведения исторической реконструкции (интерпретации) является актуальным. Предмет исследования, сведенный в область численных методов и специализированных комплексов программ на основе математического моделирования также актуален.

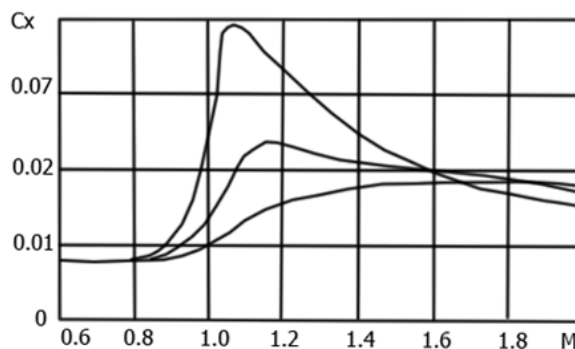
Но результаты исследования можно использовать и для изготовления новых бесшумных видов оружия на основе современных материалов и технологий. Еще одним важным аспектом в области изучения аэродинамики объектов, движущихся на небольших скоростях, является современная тенденция по изучению бионики – науки, которая решает вопросы по поиску новых энергоемких способов передвижения, используя знания о живой природе. Немецкая компания Festo разработала искусственную птицу-робота SmartBird (умная птица), которая внешне напоминает чайку, которую тоже можно отнести к классу низкоскоростных летательных объектов.

2. Решение задачи моделирования летательных объектов, движущихся на небольших скоростях

Как показал обзор литературы, в настоящее время отсутствует общепринятое определение класса низкоскоростных летательных аппаратов. На рисунке представлена зависимость коэффициента лобового сопротивления c_x от числа M , которую можно найти практически в любом учебнике по баллистике. Как видно из рисунка, область ниже трансзвукового диапазона представлена в виде прямой линии, т. е. считается, что c_x от M не зависит. А для большинства

рисунков подобного рода диапазон $M < 0,3$ вообще исключен, поскольку он отсутствует у современного метательного оружия.

Поэтому в данной работе под термином «низкоскоростные летательные аппараты» следует понимать объекты, скорость которых не превышает $0,3 M$. А это не только средневековые пули, стрелы и ядра, но и, например, пиротехнические устройства и ракеты, движущиеся под действием вышибного заряда, то есть до начала работы маршевого двигателя.



Зависимость коэффициента лобового сопротивления от числа Маха

Между тем термин «аэробаллистические параметры» включает в себя два вида величин, определение которых требует применения двух различных методов исследования. Это, во-первых, баллистические параметры, такие как скорость в момент поражения цели, дальность полета, энергия при выходе из метательного аппарата и т. д., которые предполагают использование методов математического моделирования систем с сосредоточенными параметрами, описываемых в виде систем обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, в основу которых положены фундаментальные зависимости физико-технического характера. В связи с этим в работе использовалось оригинальное программное обеспечение, разработанное в среде Borland Delphi, Turbo Pascal, Turbo Basic [1, 2].

Во-вторых, аэродинамические параметры, такие как поле распределения давления и скоростей вокруг летательного аппарата, а также интегральные аэродинамические характеристики в виде силы сопротивления или коэффициента аэродинамического сопротивления. Последние как раз и необходимы для использования их в указанных выше программных продуктах. Однако для их определения необходимы методы математического моделирования, использующие решение систем с распределенными параметрами в виде систем дифференциальных уравнений в частных производных. Поскольку с самого начала было ясно, что информация, получаемая с их помощью, носит хоть и необходимый, но всего лишь вспомогательный характер, было решено использовать существующее программное обеспечение в виде программной системы конечно-разностного моделирования ANSYS CFX и ANSYS LsDyne [3, 4].

3. Полученные результаты

Основные результаты, полученные в ходе выполнения работы, содержатся примерно в четырех десятках публикаций. Вкратце их можно сформулировать следующим образом.

1. Существенно расширены возможности эффективного алгоритма комплексной исторической реконструкции системы «стрелок – лук – стрела – цель», изложенного в работах [5, 6] путем введения в нее интегральных коэффициентов, касающихся динамики движения поражающих элементов в воздухе [7], грунтах [8] и при преодолении тонких листов [9]. Адекватность описания подтверждается сравнением с результатами экспериментов, как опубликованных ранее, так и проведенных автором.

2. Разработаны математические модели, реализованные в виде проблемно-ориентированных программных комплексов «Naval artillery penetration v.2.0» [1] и «Smoothbore» [2] для проведения баллистической идентификации параметров гладкоствольных дульнозарядных систем [10]. В качестве практического приложения обнаружен артефакт информации, касающийся дульнозарядных систем первых российских мониторов. Применение традиционных методов исторических исследований показало, что, по всей вероятности, на их вооружении стояли орудия Блэкли (Alexander Blakely), а не Круппа, как полагалось ранее [11].

Библиографические ссылки

1. Воротов А. В., Ганзий Ю. В., Митюков Н. В. Специализированный калькулятор по расчету пробиваемой брони артиллерийским снарядом «Naval artillery penetration v.2.0» // ГР в ВНИИЦ 07.04.2008 № 50200800720.
2. Митюков Н. В., Ганзий Ю. В., Романенко И. В. Программа идентификации параметров гладкоствольной артиллерии «Smoothbore» // ГР в ВНИИЦ 16.05.2012 № 50201250660.
3. Митюков Н. В., Ганзий Ю. В., Бусыгина Е. Л. Пакет ANSYS в задачах исторической реконструкции // Информ.

бюл. Ассоц. «История и компьютер». – 2012. – № 38. – С. 153–154.

4. Ganzy Yu. W., Romanenko I. W., Mitiukow N. W., Busygina E. L., Portseva L. P. Aplikacji pakietu ANSYS w problemach rekonstrukcji historycznej (Применение пакета ANSYS в задачах исторической реконструкции) // Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2012 : Materiały VIII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (Przemysł, Polska, 07-15 czerwca 2012 roku). – Vol. 33 Historia. – Przemysł: Sp. z o.o. “Nauka I studia”, 2012. – S. 45–46.

5. Митюков Н. В. Математические модели и программные средства для реконструкции военно-исторических данных : автореф. ... д-ра техн. наук: 05.13.18 и 07.00.09. – Ижевск, 2008. – 48 с. – URL: <http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/announcements/techn/25-08-2008/MitukovNV.pdf> (дата обращения: 08.11.2012).

6. Митюков Н. В. Математические модели и программные средства для реконструкции военно-исторических данных : автореф. ... д-ра техн. наук: 05.13.18. – Ижевск, 2009. – 32 с. – URL: <http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/announcements/techn/2009/30-11/MitukovNV.pdf> (дата обращения: 08.11.2012).

7. Закон сопротивления дозвукового поражающего элемента типа стрела / Ю. В. Ганзий, М. М. Салахов, Н. В. Митюков и др. // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. акад. – 2012 (в печати).

8. Митюков Н. В., Ганзий Ю. В. К вопросу о применимости ANSYS LS-DYNE для расчета движения в грунтах // Вестн. ИжГТУ. – 2010. – № 1. – С. 121–122.

9. Оценка снижения энергетических параметров снаряда при пробивании тонких пластин / Ю. В. Ганзий, И. В. Романенко, Н. В. Митюков и др. // Вестн. ИжГТУ. – 2012. – № 3. – С. 21–24.

10. Внутренняя баллистика дульнозарядных гладкоствольных орудий / Н. В. Митюков, К. Р. Крауфорд, Е. Л. Бусыгина и др. // Хим. физика и мезоскопия. – 2012. – Т. 14, № 3. – С. 371–375.

11. Крауфорд К. Р., Митюков Н. В. Орудия Блэкли на вооружении русского флота // Новый ун-т. Сер. Техн. науки. – 2012. – № 3. – С. 62–65. – URL: http://www.universityjournal.ru/Numbers/TN_3_2012.pdf (дата обращения: 08.11.2012).

Yu. V. Ganzy, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Mathematical modeling of aeroballistics of low-speed flying objects

The paper is devoted to defining the aeroballistic parameters of low-speed flying objects by means of mathematical modeling.

Keywords: aerodynamics, mathematical modeling, drag coefficient, aeroballistic options

Получено: 08.11.12