

4. Классификатор ЕСКД. Класс 28. Оснастка технологическая, инструмент режущий : офиц. изд-е. – М., 1986. – 55 с.

5. Гальцов А. Д. Нормирование и основы научной организации труда в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1967.

6. Справочник нормировщика / под ред. А. В. Ахумова. – Л. : Машиностроение, 1986. – 458 с.

7. Технологичность конструкции изделия : Справочник // Ю. Д. Амиров [и др.] ; под общ. ред. Ю. Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с.

8. Болотов Ф. В. Метод определения трудоемкости механической обработки деталей машин на стадии конструкторской подготовки производства : дис. ... канд. техн. наук. – Курган, 2000. – 149 с.

9. Акимов И. В. Самообучающаяся система экспресс-оценки трудоемкости изготовления деталей машин : дис. ... канд. техн. наук. – Тула, 1999. – 208 с.

10. Инструкция по определению плановых нормативов в инструментальном производстве с использованием специальных логарифмических счетных линеек / Г. Э. Слезингер [и др.]. – 1955. – 78 с.

11. Virtual program imported into the real technological workplace / P. Božek [et al.] // Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium. – Vol. 19. – No. 1 ; Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions”, 22–25th October 2008, Trnava, Slovakia. – Viedeň : DAAAM International Vienna, 2008. – P. 0157–0158.

A. N. Dombrachev, PhD in Engineering, Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. D. Krutikhin, PhD in Engineering, Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Experience of CAD-T "LINEIKA" Implementation

The paper considers the main aspects of mathematical software, development and industrial implementation of the computer-aided design system “Lineika”.

Key words: forecast, labour factor, rating.

УДК 621.45.015.4:530.17

Н. П. Кузнецов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Р. А. Юртиков, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ (НА ПРИМЕРЕ СОПЛОВОГО БЛОКА ТИПА «К»)*

Приведены результаты экспериментальных исследований геометрии начального участка сверхзвуковой несимметричной газовой струи.

Ключевые слова: сверхзвуковая газовая струя, начальный участок, теневые методы, сопловой блок.

Для ориентации в пространстве космических аппаратов и головных частей, а также для управления вектором тяги ракетного двигателя на верхних ступенях ракет широко применяются сопловые управляющие блоки, имеющие переменное критическое сечение. В таких блоках критическое сечение в зависимости от программы работы перекрывается на заданную величину заслонкой или ротором. При частичном перекрытии минимального сечения соплового блока нарушается как симметрия сопла, так и течения в нем, возникают отраженные скачки уплотнения и волны разряжения вниз по потоку.

Так как величина перекрытия критического сечения происходит в соответствии с программой его работы и протекает во времени, то соответствующим

образом по времени меняется и характер течения по соплу, увеличивается или уменьшается величина отрывных зон, меняется местоположение скачков уплотнения и волн разрежения. В результате этого в зависимости от степени открытия критического сечения меняется не только величина модуля силы тяги, но и направление и точка приложения вектора тяги [1].

Для реальных управляющих сопловых блоков (рис. 1) тракт подачи рабочего тела в выхлопной рас-труб представляет собой криволинейный канал, по которому движется горячий газ. С учетом явлений, сопровождающих разворот потока на входе в этот канал и на выходе из него, возможны проявления возмущающих силовых воздействий, ранее не учитываемых, но фиксируемых измерительной аппара-

© Кузнецов Н. П., Юртиков Р. А., 2012

Получено 25.07.12

* Статья написана в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

турой при натурных стендовых испытаниях таких блоков [3].

Таким образом, на сопловой блок действуют со стороны сверхзвуковой части: осевая составляющая вектора тяги R_x , боковая сила $R_{бок}$ и управляющий момент M .

Для проведения натурных испытаний подобного соплового блока требуются сложные многокомпонентные испытательные стенды, которые ввиду своей сложности конструкции достаточно дорогие и сами являются внутренним источником погрешности [1].

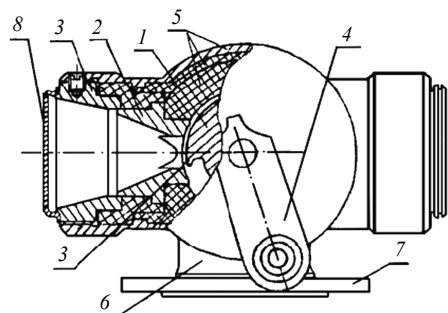


Рис. 1. Сопловой управляющий блок типа «К» [2]

Указанную задачу можно решить экспериментально, используя методы визуализации течения газов. Например, для этого достаточно найти корреляционную зависимость между силами, действующими на сопловой управляющий блок, и структурой начального участка истекающей из выхлопного сопла газовой струи.

Так как величина перекрытия критического сечения происходит в соответствии с программой его работы и протекает во времени, то соответствующим образом по времени меняется характер течения по соплу, увеличивается или уменьшается величина отрывных зон, меняется местоположение скачков уплотнения и волн разрежения. В результате этого в зависимости от степени открытия критического сечения меняется не только величина модуля силы тяги, но и направление и точка приложения вектора тяги.

Для проведения продувок соплового управляющего блока типа «К» на основе теневого прибора микротеплера был изготовлен испытательный стенд (рис. 2).

В ходе проведения экспериментальных исследований визуализации ударно-волновой структуры сверхзвукового потока, истекающего из соплового управляющего блока типа «К» с нетривиальным критическим сечением, получены экспериментальные данные, с помощью которых построена модель изменения относительного расстояния до диска Маха от угла наклона висячего скачка.

На рис. 3 представлены некоторые результаты продувок соплового управляющего блока типа «К» (угол между подводящей магистралью и оптической осью микротеплера составляет 90°). Для параметра $\varepsilon = 1$ соответствует 100%-е открытие критического сечения, для $\varepsilon = 2$ – 78,54 % открытия критического

сечения, для $\varepsilon = 3$ – 49,46 % и для $\varepsilon = 4$ – 29,26 % открытия критического сечения. Давление в подводящей магистрали P_0 изменялось от 2 до 6 МПа с шагом 1 МПа.

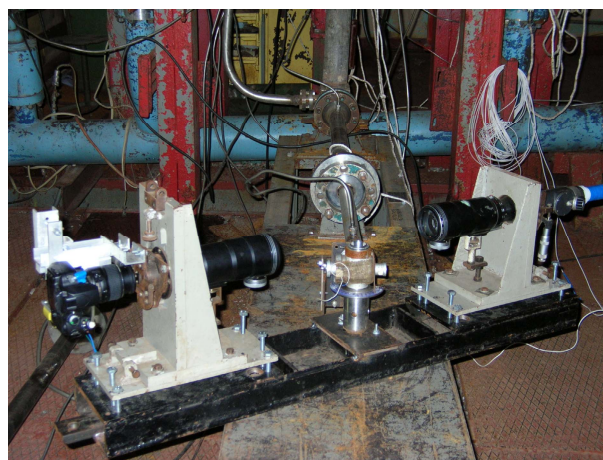


Рис. 2. Испытательный стенд

На рис. 5, а показано изменение относительного расстояния до диска Маха. Как видно из графика, этот параметр напрямую зависит от степени раскрытия критического сечения, изменение относительного расстояния на исследуемой области происходит линейно.

Угол, между осью сопла соплового блока и прямой, соединяющей геометрическую середину критического сечения и крайнюю верхнюю точку висячего скачка (рис. 4), по мере увеличения давления стремится к нулевому значению (рис. 5, б). Чем больше открыто проходное сечение, тем ближе кривые располагаются друг к другу.

Взаимное построение относительного расстояния и угла показало, что экспериментальные точки рас-

полагаются на поле $\left(\beta - \frac{L_{д.М}}{d_{кр}} \right)$ вдоль некоторой ха-

рактеристики (рис. 5, в), что, в свою очередь, делает затруднительным построение функциональной зависимости изменения силовых характеристик от этих параметров.

Наиболее подходящим для построения функциональной связи является модель изменения относительного расстояния до диска Маха и разница между углами наклона висячих скачков (рис. 6).

Изменение разницы углов наклона висячих скачков показано на рис. 7, б.

Из графика на рис. 8 видно, что данная область имеет две характерные зоны: первая зона определяется степенью открытия критического сечения от 30 до 78 %, вторая зона – степенью открытия критического сечения от 78 до 100 %.

Из анализа экспериментальных данных, полученных с помощью теневой фотографии, следует:

1. Изменение удаления диска Маха $\bar{L}_{д.М}$ для любого значения степени открытия критического сечения происходит линейно.

2. По мере увеличения давления в подводящей магистрали угол наклона струи меняет свое направление относительно геометрической оси растрюба сопла.

3. Геометрия диска Маха на всем протяжении эксперимента неустойчива. Направление нормали к диску Маха часто не совпадает с продольной осью растрюба сопла.

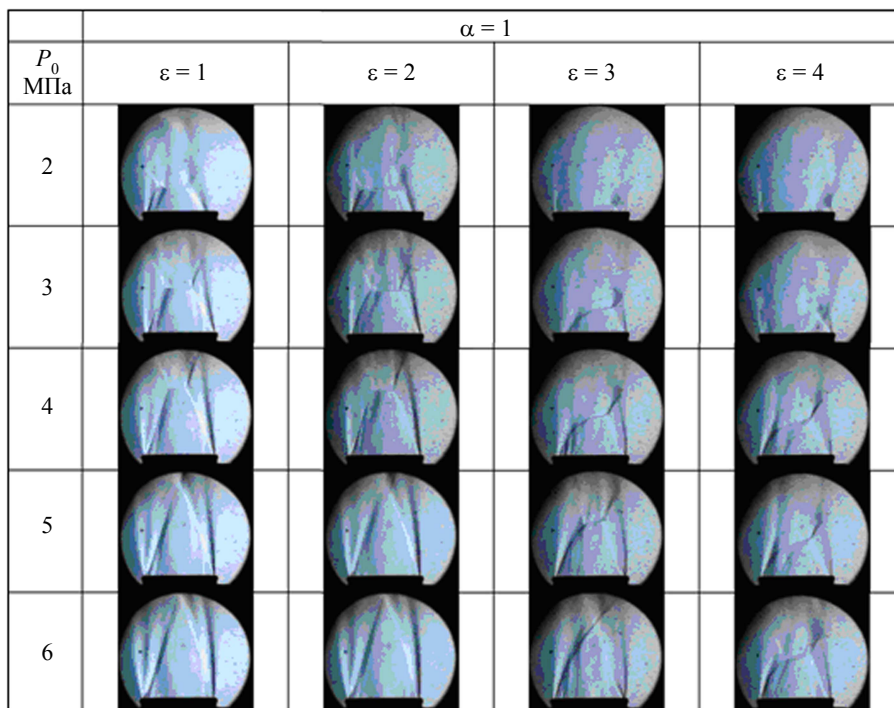


Рис. 3. Некоторые результаты продувок соплового управляющего блока типа «К»

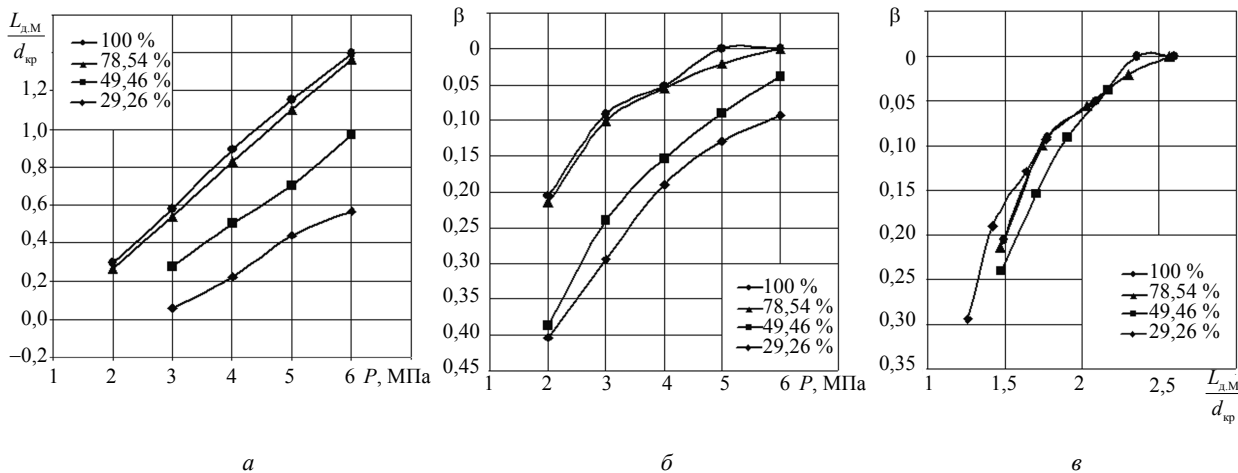


Рис. 5. Характер изменения измеряемых величин

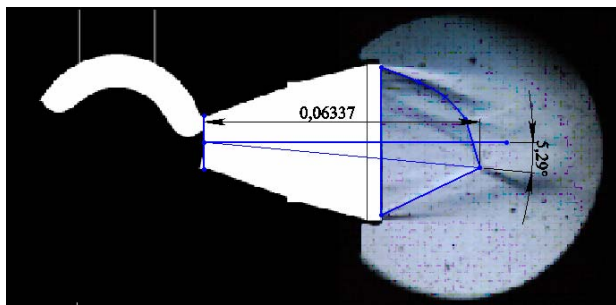


Рис. 4. Расчетная схема обработки экспериментальных данных

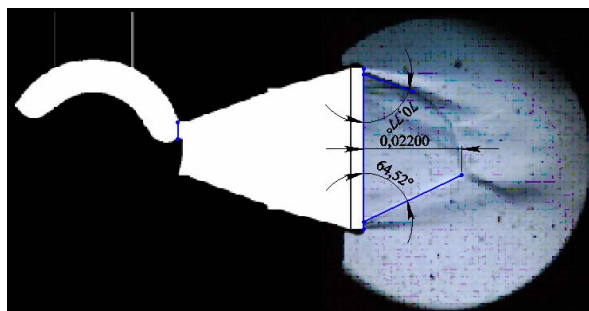


Рис. 6. Схема обработки экспериментальных данных

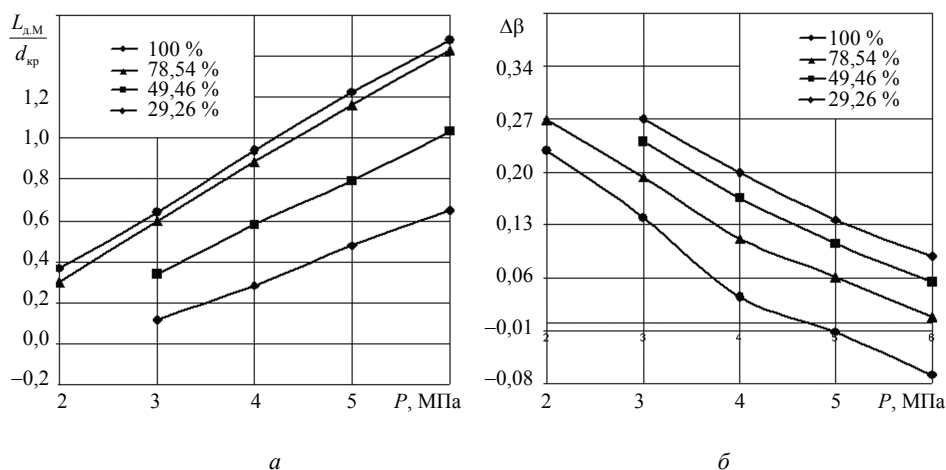


Рис. 7. Характер изменения измеряемых величин

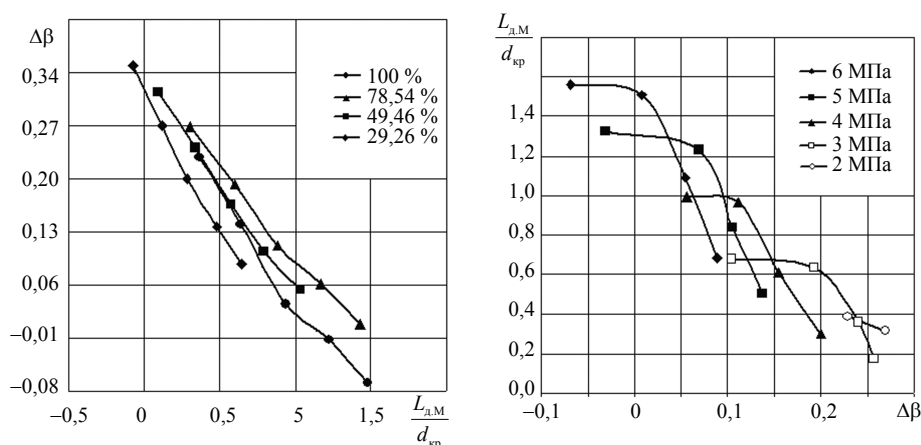


Рис. 8. Функциональное поле $\left(\Delta\beta - \frac{L_{д,М}}{d_{кр}} \right)$

Библиографические ссылки

1. Использование метода гидрогазоанalogии для исследования первоначального участка сверхзвуковой струи / Н. П. Кузнецов [и др.] // Вестник ИжГТУ. – 2005. – № 4. – С. 25–29.

2. Гребенкин В. И., Кузнецов Н. П., Черепов В. И. Силовые характеристики маршевых твердотопливных двигательных установок и двигателей специального назначения. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2003 – 356 с.

3. Черепов В. И., Кузнецов Н. П., Гребенкин В. И. Идентификация силовых характеристик объектов машиностроения. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 200 с.

N. P. Kuznetsov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 R. A. Yurtikov, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Research of Initial Section Geometry of Supersonic Asymmetrical Gas Stream (by Example of Type "K" Nozzle Block)

Experimental results of initial section geometry of a supersonic asymmetrical gas stream are described.

Key words: supersonic gas stream, initial section, shadow methods, nozzle block.