

7. Там же.
8. Способ градуировки резервуаров и устройство для его осуществления : пат. 2178153 Рос. Федерация : МПК G 01 F 25/00 / Акопян А. Р., Акопян Р. А., Годиёв А. Г., Лакиза Г. И., Несговоров А. М., Солдатов В. С. – Оpubл. 10.01.2002.
9. Там же.
10. Кузнецов Н. П., Волохин А. В. Модель расчета градуировочной характеристики железнодорожного вагона-цистерны // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 4(52). – С. 15–17.

N. P. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
A. V. Volokhin, JSC «Izhstroimontazh»

On Calculation of Fuel Reserve at a Gasoline Station

A technique of assessing stocks of liquid fuel in a separate tank of a gasoline station is proposed.

Keywords: fuel tank calibration characteristics, summary tables of fuel stocks

Получено: 14.11.11

УДК 621.45.015.4:530.17

Н. П. Кузнецов, доктор технических наук, профессор

Р. А. Юртиков

Ижевский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В СЛОЖНЫХ КАНАЛАХ (НА ПРИМЕРЕ СОПЛОВОГО БЛОКА ТИПА «К») МЕТОДОМ ГИДРОГАЗОАНАЛОГИИ

Описывается исследование геометрии начального участка сверхзвуковой несимметричной газовой струи методом гидрогазоанalogии.

Ключевые слова: гидрлоток, гидрогазоанalogия, сверхзвуковая газовая струя

Современные двигатели малой тяги и двигатели управления с регулируемым вектором тяги имеют достаточно сложную геометрию предсоплового объема и соплового раструба. Критическое сечение и сопловой раструб у таких двигателей имеет как классическое сечение, так и нетривиальную геометрию. Как правило, регулирование расхода в таких двигателях происходит за счет перекрытия критического сечения.

Таким образом, на геометрию начального участка сверхзвуковой газовой струи сильное влияние оказывает условие входа потока в критическое сечение; у критического сечения вследствие перекрытия появляется эксцентриситет относительно соплового раструба; как следствие, газовый поток имеет различную плотность, давление и скорость у входа в сопло.

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.

Из-за конструктивных особенностей сопловых управляющих блоков рабочее тело, поступая из газогенератора по газоподающему тракту в выхлопной раструб, имеет сложный характер движения (рис. 1), в том числе присутствует участок криволинейного движения газа [2].

Из-за несимметричности течения газа по выхлопному раструбу выходная силовая характеристика имеет три составляющие (рис. 2): осевая составляющая вектора тяги R_x , боковая сила $R_{бок}$ и управляющий момент $M = R_x \delta - R_{бок} l$.

Таким образом, на сопловой блок действуют со стороны сверхзвуковой части: осевая составляющая вектора тяги R_x , боковая сила $R_{бок}$ и управляющий момент M , а с дозвуковой стороны – центробежные силы и силы инерции Кориолиса [3].

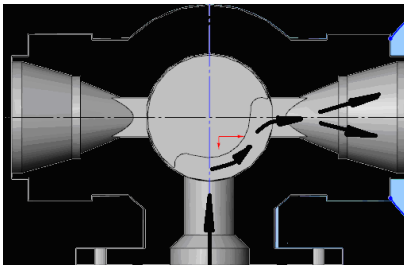


Рис. 1. Течение рабочего тела по газоподающему тракту

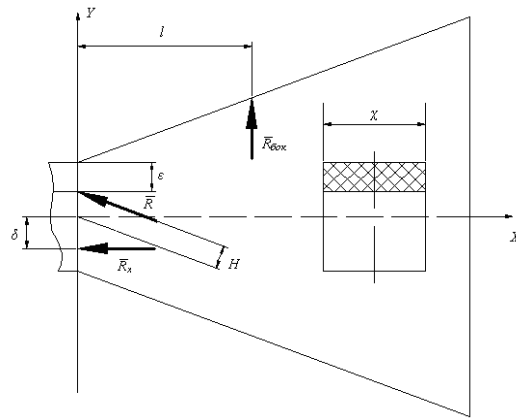


Рис. 2. Расчетная схема соплового раструба

Для проведения натурных испытаний подобных сопловых блоков требуются уникальные, многокомпонентные испытательные стенды, которые ввиду своей сложности конструкции достаточно дорогие и сами являются внутренним источником погрешности [4].

Указанную задачу можно решить экспериментально, используя методы визуализации течения газов. Геометрия начального участка сверхзвуковой струи во многом зависит от степени нерасчетности сопла, угла раствора сопла, относительного уширения сопла и параметров среды, в которую происходит истечение, а также от параметров потока на срезе сопла. Тогда для определения сил, действующих на сопловой блок, достаточно найти корреляционную зависимость между структурой начального участка истекающей из выхлопного раструба газовой струи и силами, действующими на сопловой управляющий блок.

Для визуализации процессов течения газа по трактам управляющего соплового блока может быть использован метод гидрогазоанalogии, позволяющий смоделировать процессы, происходящие в докритической части газодинамического тракта,

а также в его сверхзвуковой части, в том числе и на начальном участке истекающей из сопла струи.

Газогидравлическая аналогия – аналогия между движением тяжелой жидкости по открытому каналу и движением газа с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями. Этот метод позволяет смоделировать сверхзвуковое течение газа по каналу сопла и визуализировать картину распределения ударных волн на всех участках сверхзвуковой струи [5–8].

Для реализации возможностей гидрогазоанalogии был изготовлен гидролоток, основное назначение которого визуализация процессов течения жидкости, моделирующей течение газа, на начальном участке сверхзвуковой струи [9].

В качестве каналов были рассмотрены две модели сопловых управляющих блоков с различной геометрией сопла. Основные варьируемые и измеряемые факторы приведены на рис. 3.

В соответствии с [10] будем планировать эксперимент так, чтобы искомыми функциями от таких аргументов, как уровень жидкости в докритической части модели h_0 и степень открытия критического сечения модели сопла ε , были бы следующие параметры: расстояние до маховского диска $L_{м.д.}$; угол отклонения оси истекающей струи от оси сопла β (рис. 3).

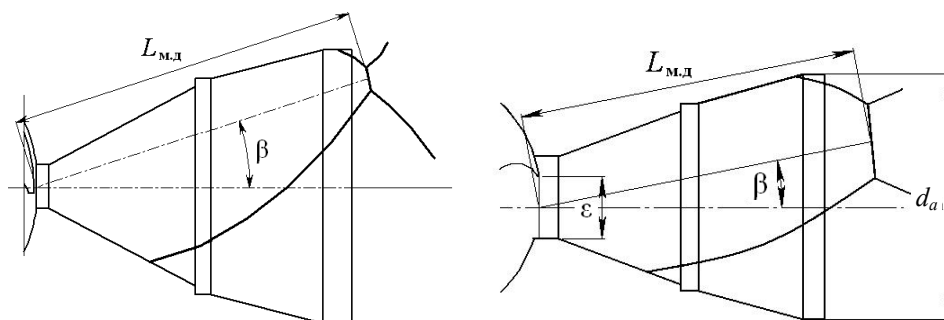


Рис. 3. Искомые величины эксперимента

На основании экспериментальных данных были построены две модели: относительное расстояние от среза сопла до диска Маха и угол отклонения оси струи от геометрической оси раструба (рис. 4, 5):

$$\begin{aligned}\bar{L}_{м.д.} &= \frac{L_{м.д.}}{d_a} = f(h_0, \varepsilon), \\ \beta &= f(h_0, \varepsilon).\end{aligned}\tag{1}$$

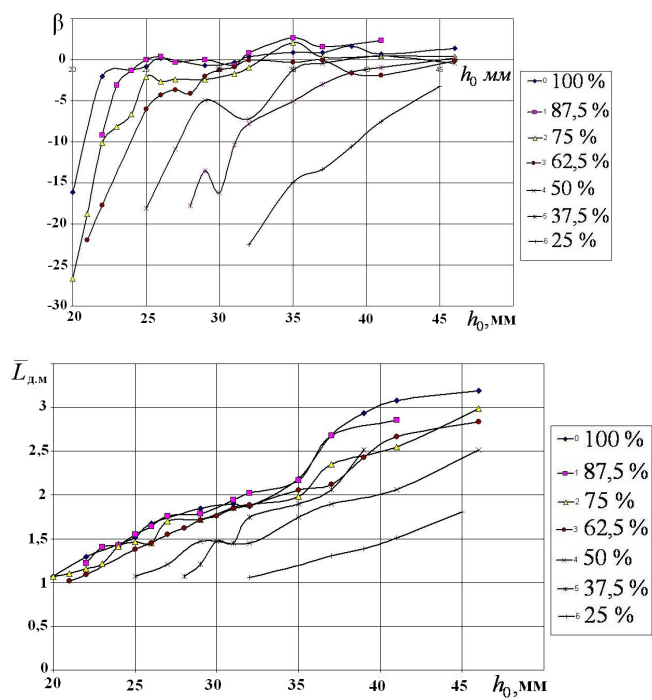


Рис. 4. Результаты обработки экспериментальных данных для первой модели

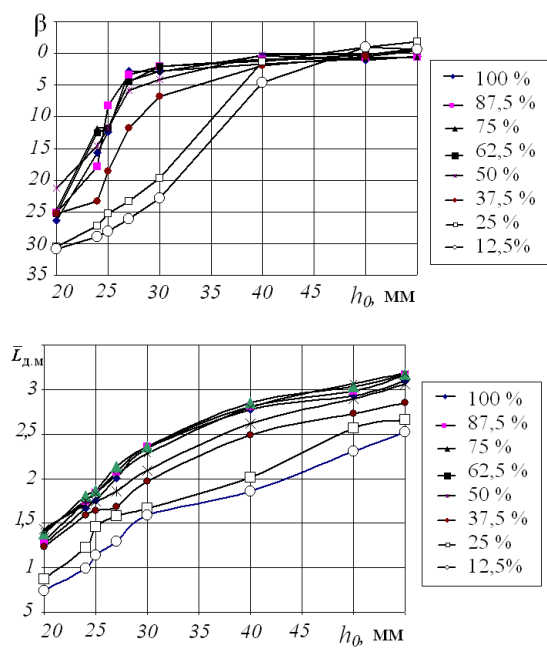


Рис. 5. Результаты обработки экспериментальных данных для второй модели

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

1. Изменение удаления диска Маха $\bar{L}_{м.д.}$ происходит в два повторяющихся этапа на исследуемом уровне глубин жидкости в докритической части сопла: линейное увеличение, сменяющееся установившимся значением, далее цикл повторяется. Причем эта тенденция отслеживается для любого значения степени открытия критического сечения.
2. По мере уменьшения критического сечения необходимо большее давление в предсопловом объеме, для того чтобы диск Маха вышел за пределы среза сопла. По мере увеличения уровня жидкости в предсопловом объеме угол наклона струи может неоднократно менять свое направление относительно геометрической оси раструба сопла.
3. Геометрия диска Маха на всем протяжении эксперимента неустойчива. Направление нормали к диску Маха часто не совпадает с продольной осью раструба сопла.

Библиографические ссылки

1. 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.
2. Там же.
3. Там же.
4. Черепов В. И., Кузнецов Н. П., Гребенкин В. И. Идентификация силовых характеристик объектов машиностроения. – М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2002. – 200 с.
5. Виноградов Р. И., Жуковский М. И., Якубов И. Р. Газогидравлическая аналогия и ее практическое приложение. – М. : Машиностроение, 1978. – 152 с.
6. Патрашев А. Н., Кивако Л. А., Гожий С. И. Прикладная гидромеханика. – М. : Военгиз, 1970. – 683 с.
7. Сунцов Н. Н. Методы аналогий в аэрогидродинамике. – М. : Физматгиз, 1958. – С. 223–324.
8. Прикладная аэродинамика / Н. Ф. Краснов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1974. – 732 с.
9. Использование метода гидрогазоаналогии для исследования первоначального участка сверхзвуковой струи / Н. П. Кузнецов [и др.] // Вестник ИжГТУ. – 2005. – № 4. – С. 25–29.
10. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы планирования эксперимента / пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 520 с.

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

N. P. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
R. A. Yurtikov, Izhevsk State Technical University

Study of Gas Flow in Complicated Channels (by Example of K-type Nozzle Cluster) with Use of Fluid Dynamics Modeling

Study of geometry of an initial phase of a supersonic asymmetrical gas stream with use of fluid dynamics modeling is described.

Key words: water channel, hydraulic gas dynamics analogy, supersonic stream

Получено: 11.11.11