

УДК 533.694.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОТКЛОНЕНИЯ ВЕКТОРА ТЯГИ
В ЭЖЕКТОРНЫХ И ПОВОРОТНЫХ СОПЛАХ**© 2011 г. *С.В. Воробьев¹, Ю.М. Клестов¹, Е.В. Мышенков¹, Е.В. Мышенкова²*¹Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Москва²Московский энергетический институт (технический университет)

sergovor@rambler.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Изложены результаты экспериментальных и расчетных исследований сопел с управлением вектором тяги, проводившихся в ЦИАМ: плоских сопел с поворотом сверхзвуковых створок, плоских и трехмерных сопел с асимметричной эжекцией внешнего потока, со вдувом и вводом интерцепторов, с изменением положения критического сечения.

Ключевые слова: газовая динамика, сопло, управление вектором тяги.

В настоящее время в развитых авиационных державах активно изучаются различные методы управления вектором тяги (УВТ) авиационного двигателя. Основное преимущество, которое дает использование УВТ, заключается в повышении маневренности в полете и на режимах взлета и посадки, когда традиционные средства управления самолетом недостаточно эффективны из-за малой скорости летательного аппарата. При большой тяговооруженности взлет с отклонением вектора тяги уменьшает длину пробега. Однако для широкого использования сопла с УВТ должны обладать относительно небольшим весом и простотой конструкции и не должны ухудшать характеристики двигателя на крейсерском режиме полета.

Среди исследуемых в ЦИАМ конструкций сопел с УВТ – плоские поворотные сопла с поворотом сверхзвуковых створок на шарнирах в минимальном сечении, плоские и трехмерные сопла с асимметричной эжекцией внешнего потока за минимальным сечением, сопла со вдувом поперечной струи и вводом интерцепторов, сопла с изменением положения критического сечения путем ввода интерцепторов. Исследования проводятся как экспериментальными методами, так и расчетно-теоретическими. Установлены диапазоны эффективной работы механизмов УВТ по перепаду давления π в сопле и максимальные углы вектора тяги для каждой конструкции. Результаты экспериментов и численного моделирования хорошо согласуются друг с другом.

Подробные результаты проведенных исследований плоских поворотных сопел представ-

лены в [1, 2]. Получены характеристики сопел на режиме прямой тяги и отклонения вектора тяги, установлено существование гистерезисных явлений в структуре течения на режиме перерасширения. Гистерезисы, вызванные несимметричным прилипанием к той или иной створке сопла при околосзвуковых π и связанные с взаимодействием пограничного слоя и внутреннего скачка на больших π , приводят к различию в коэффициенте тяги и угле поворота вектора тяги и должны учитываться законом управления тягой в таком сопле.

Также исследованы сопла с газодинамическим УВТ, которые, как предполагается, могут оказаться проще по конструкции и иметь меньшую массу. Простейшее сопло с газодинамическим УВТ – эжекторное. Схема плоского эжекторного сопла и поле числа Маха при $\pi = 3$ (расчет) показана на рис. 1а. На рисунке 1 – дозвуковая часть, 2 – эжекторный канал, открыт, 3 – эжекторный канал, закрыт, 4 – верхняя створка, 5 – нижняя створка, 6 – сверхзвуковая часть сопла, 7 – затопленное пространство, 8 – канал подачи воздуха.

Управление вектором тяги сопла осуществляется путем асимметричного открытия и закрытия эжекторных каналов для эжекции через них воздуха окружающего пространства в сверхзвуковую часть сопла, что приводит к прилипанию струи к стенке сопла, противоположащей эжекторной струе, за счет эффекта Коанда. На рис. 1б показаны зависимости угла вектора тяги α от π для 4 исследованных конфигураций – при степенях расширения сопла ϵ : 1 – 1.69, 2 – 1.75, 3 – 1.84, 4 – 1.94. Там же показаны экспериментальные данные, по-

лученные на модели с $\varepsilon = 1.69$. Для всех исследованных конфигураций угол вектора тяги α обнаруживают похожие зависимости от π в исследованном диапазоне $2.2 < \pi < 5$.

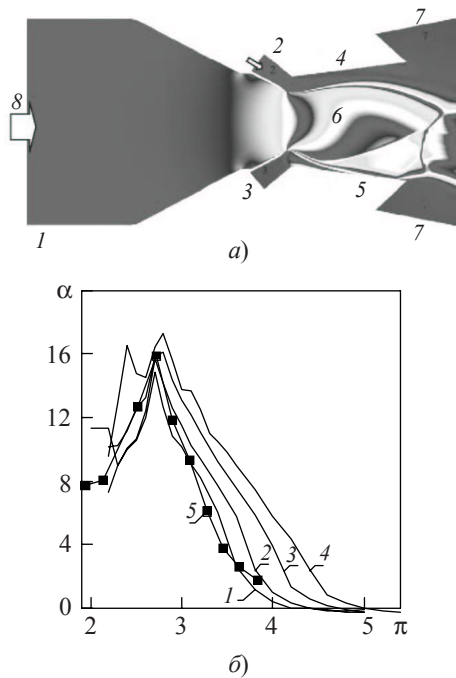


Рис. 1

Среди трехмерных конструкций исследовалось круглое сопло с асимметричной эжекцией атмосферного воздуха в сверхзвуковую часть. Схема сопла и поле числа Маха при $\pi = 3$ (расчет) показана на рис. 2 (а – в продольном сечении, б – в поперечном сечении у среза сопла).

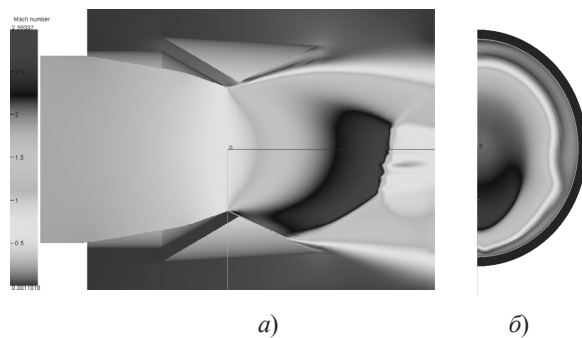


Рис. 2

Круглая форма призвана облегчить реализацию всеракурсного УВТ. Однако круглое эжекторное сопло обладает несколько худшими характеристиками по отклонению вектора тяги, чем плоское.

Управление вектором тяги в эжекторном сопле становится невозможным при $\pi > 5$ (рис. 1б), что является недостатком данного способа УВТ. Диапазон управления возможно расширить посредством инъекции в сверхзвуковую часть сопла потоков газа с большей энергией, отбираемого из дозвуковой части. Эксперименты на модельных соплах с инжекторным УВТ продемонстрировали линейную зависимость угла вектора тяги α от отношения расходов инжектируемого и основного потоков с коэффициентом пропорциональности $3^\circ/\%$ в диапазоне до $\pi = 5$, что соответствует лучшим мировым результатам, полученным для данного способа управления.

Исследования показали, что сопло с газодинамическим УВТ должно сочетать в себе несколько различных способов УВТ, например, эжекцию и вдув. Перспективным вариантом является также введение интерцептора с одной из сторон сверхзвуковой створки сопла в ее средней части, который обеспечивает смещение одного из краев критической поверхности с минимального сечения на этот интерцептор. Расчетное исследование показало, что интерцептор в виде поворотной створки обеспечивает поворот вектора тяги на угол, на 5° больший угла поворота интерцептора внутрь сопла.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 08-01-00178, 10-08-01194), в рамках Программы поддержки ведущих научных школ (НШ-3878.2008.1).

Список литературы

1. Браилко И.А., Клецов Ю.М., Крашенинников С.Ю., Миронов А.К. Экспериментальное и расчетное исследование аэродинамики плоского поворотного сопла с резким изменением контура в горле // Аэромеханика и газовая динамика. 2003. №3. С. 3–13.
2. Мышенков Е.В., Мышенкова Е.В. Гистерезисные явления в плоском поворотном сопле // Изв. РАН. МЖГ. 2010. № 4. С. 175–187.

INVESTIGATION OF THRUST VECTORING METHODS IN EJECTOR AND TURNING NOZZLES

S.V. Vorob'ev, Yu.M. Klestov, E.V. Myshenkov, E.V. Myshenkova

The report presents results of experimental and theoretical investigations of nozzles with thrust vectoring conducted in Central Institute of Aviation Motors. The nozzles includes nozzles with turning supersonic, flat and 3D nozzles with asymmetric ejection of ambient flow, nozzles with injections and interceptors, and nozzles with critical surface shifting.

Keywords: gas dynamics, nozzle, thrust vectoring.