

УДК 533.6.01

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ
ЦИЛИНДРА С ГАЗОПРОНИЦАЕМЫМ ЭКРАНОМ**

© 2011 г.

С.Г. Миронов, К.М. Сердюк

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

mironov@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты экспериментального исследования обтекания цилиндра, параллельного сверхзвуковому потоку ($M = 5$), с расположенным перед его торцом плоским сетчатым экраном. Получены данные о волновом сопротивлении модели, тепловых потоках на торец цилиндра в зависимости от геометрических параметров сеток и расстояния между сетчатым экраном и торцом цилиндра. Обнаружено значительное (до 55%) снижение волнового сопротивления модели при выдвигании сетчатого экрана вверх по потоку. Приведены результаты теневой визуализации течения вокруг модели, измерения поля скоростей методом трековых частиц. Приведены данные измерений распределения динамического, статического давлений и числа Маха за сетчатым экраном, величины аэродинамического сопротивления экранов с сетками различной геометрии. На основе полученных экспериментальных результатов предложена физическая модель снижения волнового сопротивления цилиндра с сетчатым экраном в сверхзвуковом потоке.

Ключевые слова: сверхзвуковой поток, волновое сопротивление, газопроницаемый экран, снижение сопротивления, эксперимент.

Научно-исследовательские работы по созданию перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов выявили необходимость конверсии жидкого топлива в газообразное перед его подачей в прямоточный воздушно-реактивный двигатель за счет тепла аэродинамического нагрева [1]. Это обеспечивает меньшую длину перемешивания топлива с воздухом в камере сгорания и уменьшает время индукции смеси перед началом горения, что существенно сокращает вес и длину двигателя. Наиболее эффективным теплообменным устройством для осуществления процесса конверсии может быть система тонких труб, обтекаемых горячим воздухом набегающего потока, через которые течет жидкое топливо. Предельным случаем такого устройства является плоский трубчатый экран типа сетки. С другой стороны, взаимодействие сетчатого экрана со сверхзвуковым или гиперзвуковым потоком может существенно изменить картину обтекания и повлиять на волновое сопротивление летательного аппарата и тепловые потоки на его поверхность. Наиболее сильно это должно проявляться при обтекании затупленных тел, поэтому этот эффект может быть использован для управления сопротивлением затупленных тел с целью их курсо-

вого маневрирования. Для одиночных перфорированных экранов в сверхзвуковом потоке и перфорированных экранов, расположенных перед тупым телом, был проведен цикл расчетных исследований (см., например, [2]), которые показали принципиальную возможность снижения аэродинамического сопротивления и тепловых потоков в системе перфорированный экран – затупленное тело. Первые результаты прямых весовых измерений сопротивления модели сетчатый экран – цилиндр в сверхзвуковом потоке были получены в работе [3], где было показано значительное (до 45%) снижение волнового сопротивления модели при увеличении расстояния между плоским сетчатым экраном и торцом цилиндра. С целью выявления физических механизмов снижения аэродинамического сопротивления в таких системах было выполнено параметрическое исследование обтекания цилиндра, параллельного сверхзвуковому потоку, с плоскими экранами с сетками различной геометрии на его переднем торце.

В экспериментах использован шпирен-метод, метод PIV, выполнены весовые измерения, тепловые измерения методом скоростной тепловизионной камеры, измерены распределения динамического и статического давления в по-

токе за сетками, вычислены распределения числа Маха. Были получены данные о влиянии газопроницаемости (прозрачности) сеток экрана и газопроницаемости (прозрачности) державки экрана на максимальную величину снижения сопротивления модели в сверхзвуковом потоке. Показано, что аэродинамическое сопротивление модели падает с увеличением прозрачности сеток и державки экрана. При этом конструкция державки должна обеспечивать наилучшие условия отвода воздуха от торца цилиндра. Достигнуто 55% уменьшение сопротивления модели при выдвигании вперед сетчатого экрана. Обнаружена слабая зависимость сопротивления модели от единичного числа Рейнольдса потока.

На рис. 1 изображена шпирен-визуализация обтекания модели для различных расстояний между экраном и торцом цилиндра.

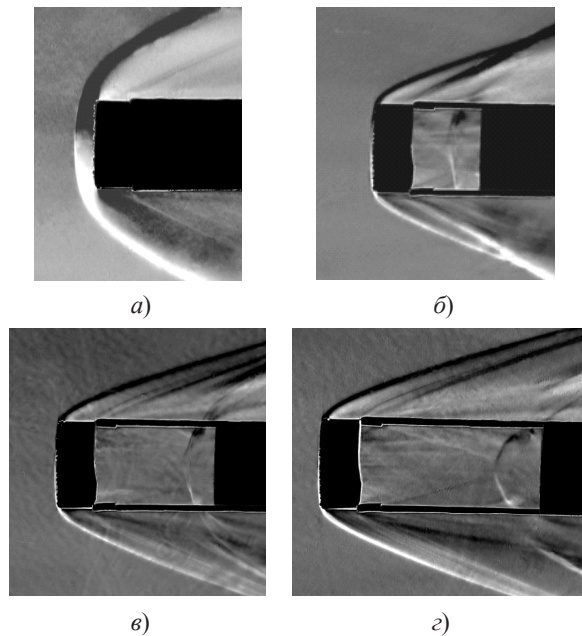


Рис. 1

Показано, что выдвигание вперед сетчатого экрана существенно изменяет картину обтекания модели. В частности, головная ударная волна приближается к сетчатому экрану и (для

достаточно прозрачных сеток) «садится» на проволочку сетки.

За сетчатым экраном имеет место течение типа недорасширенной струи, плотность потока в которой падает с расстоянием, а перед торцом цилиндра возникает заостренная циркуляционная отрывная зона. Возникновение отрывной зоны соответствует достижению минимального значения сопротивления модели для каждой комбинации сетки экрана и державки. Показано наличие локального дефицита в величине числа Маха на оси струйного течения за сетчатым экраном, который приводит к возникновению заостренной отрывной области перед торцом цилиндра [4–6]. На основании этого дано объяснение эффекту снижения сопротивления цилиндра с расположенным перед его торцом плоским сетчатым экраном.

Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП № 2.1.1/3963.

Список литературы

1. Турчак А.А., Кочешков Н.А., Куранов А.Л. Новые гиперзвуковые технологии в освоении космического пространства // Матер. научно-практич. конф., посвященной 40-летию первого полета человека в космос. Санкт-Петербург, 11 апр. 2001. С. 43–44.
2. Гувернюк С.В. О гиперзвуковом обтекании тел с сетчатыми экранами // Газовая и волновая динамика. М.: Айрис-Пресс, 2005. С. 236–242.
3. Фомин В.М., Миронов С.Г., Сердюк К.М. Снижение волнового сопротивления тел в сверхзвуковом потоке пористыми материалами // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35, вып. 3. С. 39–45.
4. Lin T.C., Reeves B.L., Siegelman D. Blunt-body problem in nonuniform flowfields // AIAA Journal. 1977. Vol. 15, No 8. P. 1130–1137.
5. Гувернюк С.В., Савинов К.Г. Некоторые обобщения задачи о взаимодействии затупленных тел с неоднородными сверхзвуковыми потоками // Изв. РАН. МЖГ. 1996. №2. С. 164–170.
6. Гувернюк С.В., Савинов К.Г. Отрывные изобарические структуры в сверхзвуковых потоках с локализованной неоднородностью // Докл. РАН. 2007. Т. 403, №2. С. 188–192.

EXPERIMENTAL STUDY OF SUPERSONIC FLOW AROUND CYLINDER WITH A GAS-PERMEABLE SCREEN

S.G. Mironov, K.M. Serdyuk

The results of an experimental study of a flow around cylinder, parallel to supersonic stream ($M = 5$), with a flat wire screen located before its forward end are presented. Data of the model wave drag, the heat fluxes to the face of cylinder depending on the geometric parameters of grids and distance between the wire screen and the face of cylinder are acquired. A significant (up to 55%) reduction in wave drag of the model with upstream advancement of the wire screen is discovered. The results of the

shadow visualization of flow around the model, the measurement of the velocity field by the method of tracking particles and the measurement of the heat flux to the face of cylinder by the IR-camera and colorimetric methods are given. Measurements data of the dynamic, static pressures distributions and the distributions of Mach number after the wire screen, data of aerodynamic drag of wire screens with the grids of different geometry are given. The physical model of the wave drag reduction of cylinder with the wire screen in the supersonic flow is proposed on the basis of the obtained experimental results.

Keywords: supersonic flow, wave drag, gas-permeable screen, drag reduction, experiments.