

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Кудинов, А.А. Тепломассообмен : учебное пособие / А. А. Кудинов. — Москва: Инфра-М, 2012. — 375 с.: ил. — Высшее образование. — Библиогр.: с. 356-359.
2. Чиркин, В.С. Теплопроводность промышленных материалов / В.С. Чиркин. — Москва: МАШГИЗ, 1962.—247 с.

Научный руководитель: Раков Ю.Я., к.т.н., доцент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ**

Е.А. Маслов<sup>1,2</sup>, В.В. Фарапонов<sup>3</sup>, А.А. Чупашев<sup>2</sup>, В.В. Мацкевич<sup>1</sup>, С.Ю. Чижов<sup>3</sup>,  
А.Б. Бадмаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики  
Томского государственного университета

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время существует интерес к исследованию обтекания и определения аэродинамических характеристик тел различной формы при разной относительной скорости движения. Экспериментальные результаты используются для проверки адекватности физических и математических моделей, применяемых для расчёта сложных внешних и внутренних течений, верификации программ расчёта и определения областей их применения.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований обтекания сверхзвуковым воздушным потоком плоской (клин) и осесимметричной моделей (конус) на модельной аэродинамической установке (МАУ) [1].

Для получения достоверных результатов дренажных испытаний был разработан и смонтирован стенд для поверки датчиков типа

ДМ 5007 А – ДИ У2 и типа ТДМ2-А, используемых для измерений давлений на МАУ. Стенд для поверки датчиков давления показан на рис. 1.

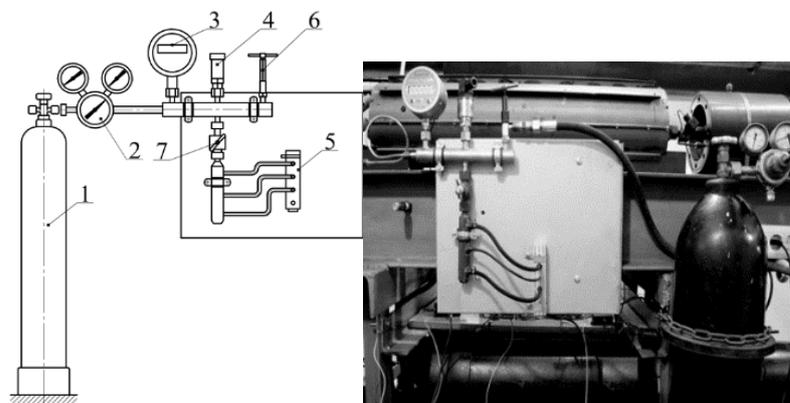


Рис. 1. Схема (а) и фотография (б) стенда для контроля используемых датчиков давления: 1 – баллон со сжатым воздухом, 2 – редуктор, 3 – цифровой манометр, 4 – датчик давления в форкамере, 5 – блок с датчиками давления, 6 и 7 – регулирующие вентили

На рис. 2 приведены градуировочные зависимости датчиков избыточного давления. Средняя относительная погрешность для датчика типа ТДМ2-А составила 0,19%, а для датчика типа ДМ 5007 А – ДИ У2 – 0,14%. Наличие стенда позволяет контролировать точность измеряемых давлений, при регистрации показаний, используемых датчиков перед проведением каждой серии экспериментов.

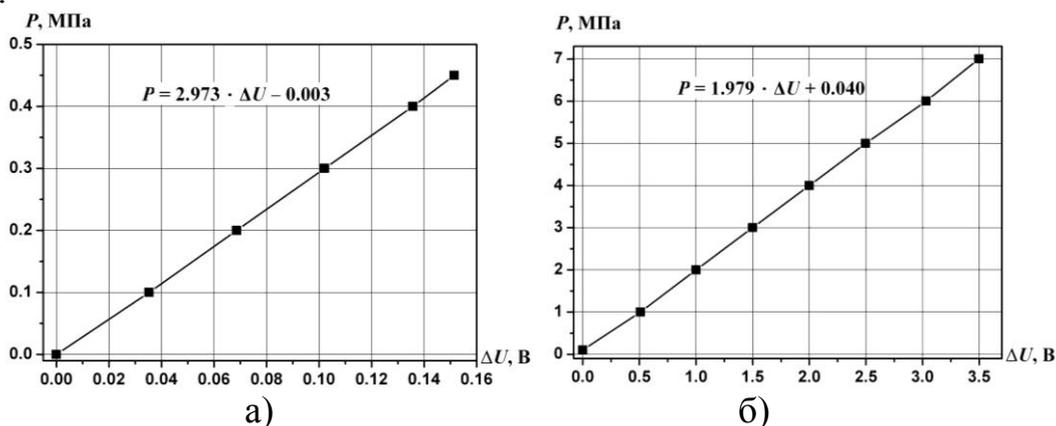


Рис. 2. Градуировочные зависимости датчиков давления типа ТДМ2-А (а) и ДМ 5007 А – ДИ У2 (б)

Проведены дренажные испытания на моделях двух видов [2]. В качестве осесимметричной модели был взят конус, а плоской – клин. Схемы расположения дренажных отверстий приведены на рис. 3.

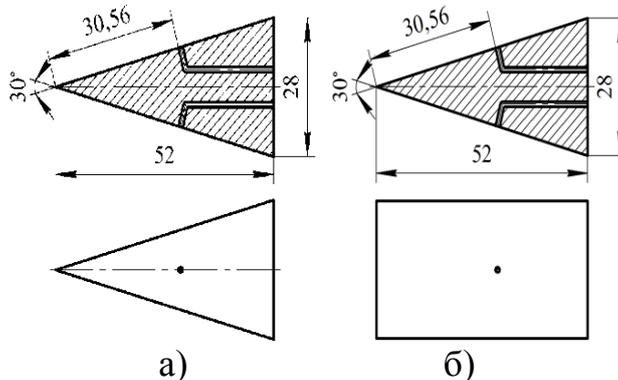
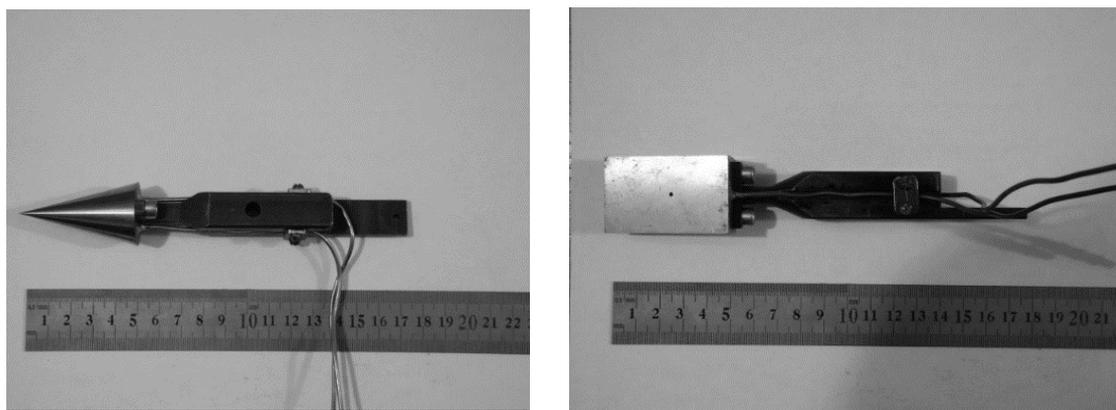


Рис. 3. Схемы моделей в виде конуса (а) и клина (б)

На рис. 4. приведены фотографии используемых в эксперименте моделей, закреплённых на державке.

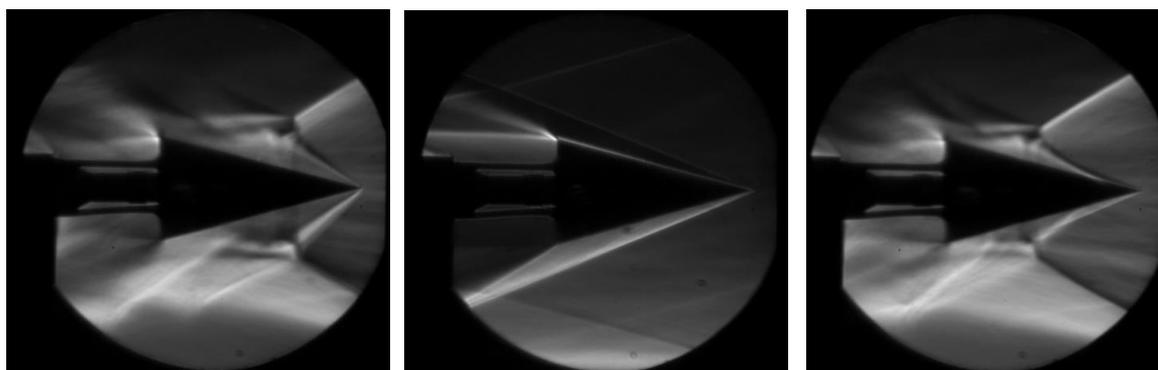


а)

б)

Рис. 4 Модели в виде конуса (а) и клина (б)

Все датчики давления подключены к цифровой регистрирующей системе, в которой опрос сигналов каждого регистрирующего канала с частотой 500 Гц поступал на АЦП, а по завершению эксперимента производилась запись в файл данных. Для обработки полученных данных использовалась разработанная авторами программа, позволяющая получить значения давлений по регистрируемым значениям измеряемого напряжения.



а)

б)

в)

Рис. 5 Фрагменты визуализации высокоскоростной видеокамерой процесса обтекания конуса

Полученные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), зарегистрированные осциллографом, сопоставлялись с визуализацией процесса. При открытии электромагнитного клапана – происходит резкое возрастание давления в форкамере, ударная волна начинает взаимодействовать с телом. При прохождении дренажных отверстий ударной волной ( $M = 3$ ), регистрируется скачок статических давлений (рис. 5 (а)).

Затем, в течении двух секунд давление в форкамере слабо меняется, и статические давления на дренажных отверстиях остаются неизменными. Тело находится в ромбе Маха и картина обтекания не меняется (рис. 5 (б)).

После закрытия электромагнитного клапана – происходит резкое уменьшение давления в форкамере, ударная волна проходит в обратном направлении

дренажные отверстия, и регистрируется скачок статических давлений (рис. 5 (в)).

В серии опытов для вычисления числа Маха измерялось полное и статическое давление. В ЦАГИ были разработаны комбинированные датчики давления (трубка Пито–Прандтля), которые дают возможность измерять оба давления одновременно в сверхзвуковом воздушном.

На рис. 6 приведены результаты серий экспериментов при обтекании плоской и осесимметричной моделей воздушным потоком в диапазоне чисел Маха  $M = (2 \div 5)$  при нулевом угле тангажа [3].

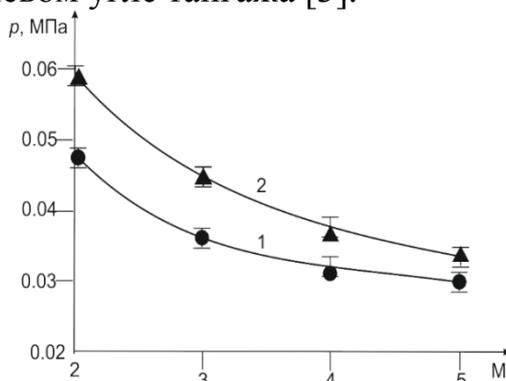


Рис. 6 Давление в фиксированной точке на боковой поверхности моделей: 1 – конус; 2 – клин

Анализ полученных результатов показал различие значений давления на поверхности клина и конуса в рассматриваемом диапазоне скоростей обтекания. Выделен эффект объясняется тем, что обтекание конуса носит пространственный характер.

Данные результаты означают, что при математическом моделировании газодинамических процессов в двигательных установках в диапазоне  $M = (2 \div 5)$  необходимо учитывать пространственный характер течения.

Статья написана в рамках научного проекта № 8.2.46.2015, выполненного при поддержке Программы «Научный фонд Томского государственного университета им. Д.И. Менделеева» в 2015 г.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Звегинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть 1 Установки для научных исследований. – Новосибирск: Параллель, 2014. – 551 с.
2. Маслов Е.А., Жарова И.К., Фарапонов В.В., Мацкевич В.В., Чижов С.Ю. Физическое моделирование обтекания тел плоской и осесимметричной формы сверхзвуковым потоком // Труды Томского государственного университета. – Т. 298. Серия физико-математическая: Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики / под ред. М.Ю.Орлова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. 136с. С. 84 – 88. DOI: 10.17223/9785751124199/17
3. Maslov E.A., Farapov V.V., Chupashev A.A., Matskevich V.V. Physical modeling of supersonic flow Over bodies with plane and Axisymmetric

shape // MATEC Web of Conferences Volume 72, 9 August 2016, Article number 01065 Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy - Technical and Technological Equipment, HMTTSC 2016; Tomsk; Russian Federation; 19 April 2016 through 21 April 2016; Code 123283. DOI: 10.1051/2016-72-7201065. Pp. 1 – 3.

4. Краснов Н.Ф., Кошевой В.Н., Данилов А.Н. и др. Аэродинамика в вопросах и задачах. – М.: Высш. школа, 1985. – 759

Научный руководитель: Е.А. Маслов, доцент, Томский политехнический университет, кафедра АТЭС.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ЖИДКОСТИ С ПЕРЕМЕННОЙ ВЯЗКОСТЬЮ В ЗАМКНУТОЙ ПОРИСТОЙ ПОЛОСТИ**

М.С. Астанина

Томский государственный университет

Естественная конвекция – один из важнейших механизмов передачи энергии в окружающей среде и в технических системах. Роль этого процесса велика в повседневной жизни (обогрев помещений), в природе (образование облаков), а также в промышленности и производстве. Данный механизм переноса энергии является преобладающим в таких приложениях, как выращивание монокристаллов, охлаждение элементов электронной техники, а также в задачах теплоэнергетики и строительства. Отметим, что изучение процессов конвективного теплопереноса в пористых средах имеет ряд важных приложений в различных отраслях, например, ядерные энергетические системы, солнечные коллекторы и другие. Рассмотрение моделей конвекции с переменной вязкостью более точно отражает реальные процессы, так как далеко не всегда вязкость жидкости постоянна: она может зависеть от температуры, давления и других факторов.

В настоящей работе рассматривается процесс конвективного теплообмена в пористой квадратной полости с источниками энергии (рис. 1). Температура источников максимальна во всей области. Предполагается, что верхняя и нижняя стенка области адиабатические, боковые границы поддерживаются при постоянной температуре. Вязкость жидкости изменяется с температурой по закону

ну  $v = v_0 \cdot \exp\left(-C \frac{T - T_0}{T_h - T_c}\right)$ , ( $v_0$  – коэффициент кинематической вязкости при

начальной температуре  $T_0 = 0.5(T_h + T_c)$ ), поток ламинарный. Жидкость теплопроводная и ньютоновская, удовлетворяющая приближению Буссинеска.