

БЕССКАЧКОВОЕ ТОРМОЖЕНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ПОТОКА В КАНАЛЕ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ

Хазов Д.Е.¹

¹ НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
e-mail: dkhazov@mail.ru

Проблема торможения вязкого сверхзвукового потока в каналах вызывает интерес исследователей и инженеров в связи с важностью этой задачи для современных перспективных воздушно-реактивных двигателей и аэродинамических труб. В случае канала постоянного сечения с непроницаемыми стенками сверхзвуковой поток тормозится через сложную структуру скачков и областей отрывного пристеночного течения, называемую в целом псевдоскачком [1].

В работе [2] проницаемые (перфорированные) границы использовались для разгона потока от звуковых до сверхзвуковых скоростей, а также для выравнивания неравномерности сверхзвукового потока.

Авторы работы [3] провели экспериментальное исследование течения в проницаемой трубке постоянного сечения, установленной в сверхзвуковое сопло. Эксперименты показали, что внутри трубки реализуется переход от дозвукового течения к сверхзвуковому (расходное сопло).

В настоящей работе рассмотрено сверхзвуковое течение в канале постоянного сечения ($d_h = 3.5$ мм) с проницаемыми стенками. Построены одномерная и двумерная (осесимметричная) математические модели.

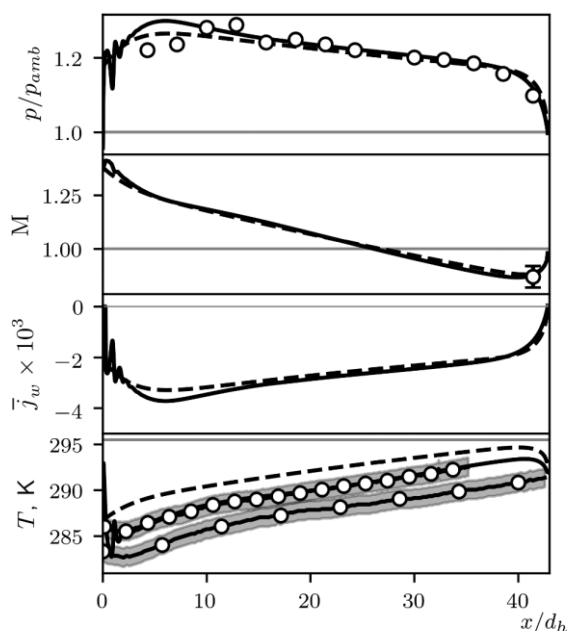


Рис. 1. Изменение основных параметров по длине канала при $P_0^* = 3.98$ атм. Символы — эксперимент [4]; пунктирные линии — расчёт 1D; сплошные линии — 2D

Проведено сравнение с экспериментальными данными [4]. На рис. 1 показаны сопоставления экспериментальных и расчётных данных (статическое давление p ;

среднемассовое число Маха M ; относительный массовый поток через стенку $\bar{j}_w$ и температура стенки канала T) по длине цилиндрического канала при давлении в форкамере $P_0^* = 3.98$ атм. Перед каналом установлено профилированное сопло $M_{is} = 1.4$. Как видно из рисунка, обе модели (штриховые линии — 1D; сплошные линии — 2D) демонстрируют схожее поведение и предсказывают бескачковое торможение ($x/d_h \approx 25$) до дозвуковых скоростей.

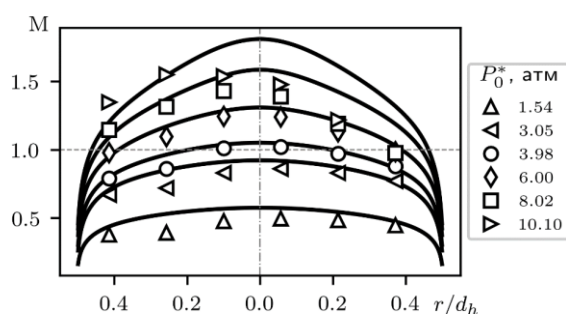


Рис. 2. Радиальное распределение числа Маха в сечении $x/d_h = 41.4$ при различных начальных давлениях. Символы — эксперимент [4]; сплошные линии — расчёт 2D

На рис. 2 показаны радиальные распределения числа Маха в сечении $x/d_h = 41.4$ при различных давлениях в форкамере. Как видно расчёты (2D) хорошо согласуются с экспериментом.

Из представленных результатов можно видеть, что при определённом давлении в форкамере возможен бескачковый переход от сверхзвуковых скоростей к дозвуковым при течении в канале с проницаемыми стенками.

Список литературы

- О.В. Гуськов, В.И. Копченков, И.И. Липатов, В.Н. Острась, В.П. Старухин. Процессы торможения сверхзвуковых течений в каналах. М.: Физматлит, 2008, 168 с.
- Г.Л. Гродзовский, А.А. Никольский, Г.П. Свищев, Г.И. Таганов. Сверхзвуковые течения газа в перфорированных границах. М.: Машиностроение, 1967, 142 с.
- Ю.А. Виноградов, И.К. Ермолаев, А.И. Леонтьев. Течение газа в сверхзвуковом осесимметричном сопле с проницаемой вставкой. Известия РАН. МЖТ, 1999, 5, с. 205–208.
- A.I. Leontiev, A.G. Zditovets, N.A. Kiselev, Yu.A. Vinogradov, M.M. Strongin. Experimental investigation of energy (temperature) separation of a high-velocity air flow in a cylindrical channel with a permeable wall. Experimental Thermal and Fluid Science, 2019, 105, p 206–215.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы АААА-А16-116021110200-5 НИИ механики МГУ при частичной поддержке гранта РФФИ (грант № 18-08-00413).