

УДК 533.6.071.4

## **Численное исследование полей течения в профилированном сопле со сменными отсеками при числе $M=7; 8; 9$ для АДТ Т-117.**

**С.М. Дроздов<sup>1</sup>, А.Г. Наливайко<sup>1</sup>, Д.С. Федоров<sup>1</sup>, Ю.И. Чистов<sup>1</sup>, А.Я. Чудаков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт» имени профессор Н.Е. Жуковского

Сверхзвуковые осесимметричные сопла широко используются в различных газодинамических установках. Применительно к аэродинамическим трубам особый интерес представляют профилированные гиперзвуковые сопла, предназначенные для формирования в рабочей части трубы однородного потока газа в изоэнтропическом ядре струи.

Изоэнтропические контура сопел рассчитываются, как правило, методом характеристик, значения толщины вытеснения определяются либо в результате расчета ламинарного пограничного слоя, либо на основании эмпирических зависимостей для турбулентного течения (обратная задача). Таким способом были рассчитаны, спроектированы и экспериментально исследованы сопла на числа  $M=6 - 20$  аэродинамических труб ЦАГИ Т-121, УТ-1, ИТ-1, Т-117. Результаты исследований позволили рекомендовать предложенную методику для расчета контуров сопел промышленных гиперзвуковых установок.

Методика аэродинамического проектирования профилированного сопла, со сменными отсеками контура в районе критического сечения позволяет получать в некотором диапазоне дискретные значения чисел  $M$  с удовлетворительным качеством потока. Эта методика была проверена и отработана на практике в АДТ Т-117, где на базе сопла на число  $M=10,5$  было спроектировано два специальных отсека, обеспечивающих реализацию течений газа с числами  $M=7,5$  и  $8,3$ .

В данной работе проводится численное исследование полей течения в проектируемом осесимметричном профилированном сопле со сменными критическими отсеками с диаметром выходного сечения 830 мм и длиной проточной части сопла 5000 мм. Сопло должно обеспечить однородное течения газа в рабочей части Т-117 с числами  $M=7; 8$  и  $9$  при заданных параметрах в форкамере. В комплекс задач по проектированию профилированных гиперзвуковых сопел для аэродинамических труб входит задача об исследовании течения газа в сопле заданной геометрии при определенных значениях числа  $Re$  и температуре стенки (прямая задача). Получить решение прямой задачи достаточно сложно, так как размеры изоэнтропического ядра и значения чисел  $M$  в нем определяются взаимодействием невязкого течения с пограничным слоем, параметры которого в свою очередь зависят от характеристик невязкого потока.

Альтернативным подходом является численное моделирование осесимметричного течения вязкого и теплопроводного газа (воздуха) в проектируемом сопле. В данной работе такое исследование было выполнено с помощью пакета программ "Fluent" в рамках системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, с использованием моделей турбулентности Спаларта-Альмараса и SST.

Результаты расчетов, представленные в виде распределений чисел  $M$  по длине сопла (рис. 1) и в ряде его поперечных сечений, согласуются с данными, полученными по методу характеристик с учетом влияния вязкости, что подтверждает надежность данного метода. Так же в рамках этой работы проведено параметрическое исследование влияния разного уровня входной турбулентности в форкамере на картины течения в сопле и срезе сопла (рис. 2), так же проведено сравнение двух моделей турбулентности.

Полученные материалы будут использованы при проектировании нового сопла и сменных отсеков.

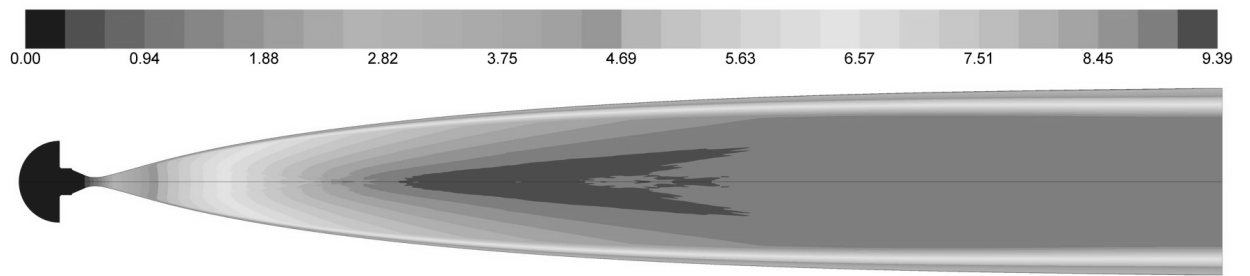


Рис. 1. Поле числа М в сопле

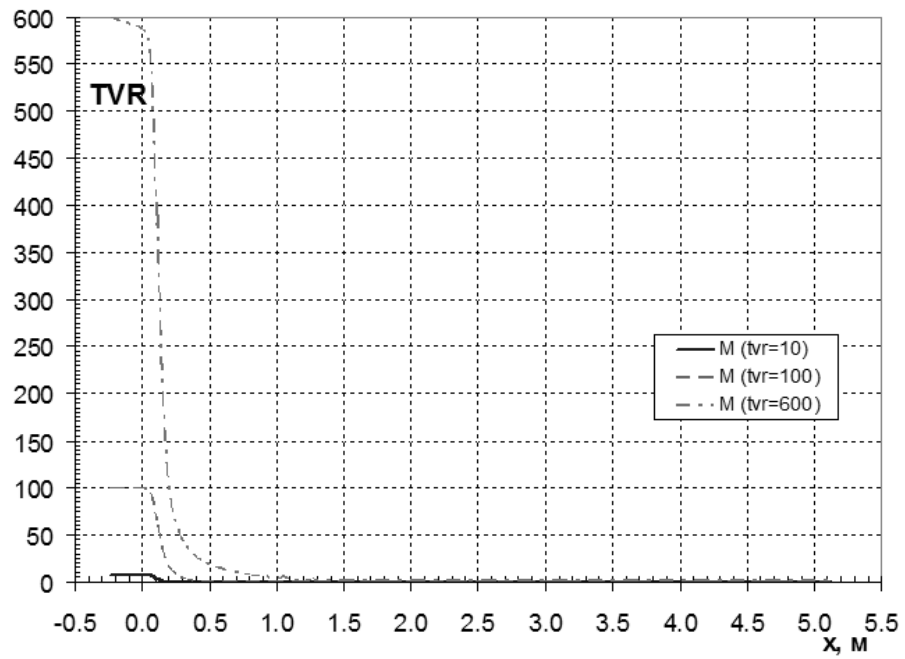


Рис. 2. Распределение безразмерной турбулентной вязкости TVR по координате X на оси сопла.