

УДК 533.6.011.5

Моделирование теплопередачи в сверхзвуковом потоке газа к телам с образующей, заданной кривыми второго порядка

Котенев Владимир Пантелеевич

v.p.kotenev@vpk.npomash.ru

Сысенко Валентина Алексеевна^(*)

v.a.sysenko@vpk.npomash.ru

АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Московская обл., Россия

Аннотация. В статье В.П. Котенева, В.А. Сысенко «Моделирование теплообмена на поверхности сферы в потоке газа» была представлена формула для аналитического определения относительного теплового потока (отнесенного к соответствующей величине в точке торможения потока) на сфере, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа, для холодной стенки при числах $Re_\infty \geq 500$. В настоящей работе проведена модификация этой зависимости с целью упрощения ее применения в расчетах тепловых потоков.

Ключевые слова: осесимметричные течения газа, тепловой поток, сверхзвуковое обтекание, затупленное тело вращения, приближенная зависимость

Введение. В инженерной практике возникает необходимость быстрой оценки тепловых потоков к поверхности затупленных тел. Существующие приближенные зависимости включают в себя параметры, описывающие геометрию обтекаемого тела и давление на его поверхности. Давление задается по формуле Ньютона или с помощью аппроксимационных зависимостей, не являющихся универсальными. Точность расчетов теплового потока при таком подходе неудовлетворительна. Для ее повышения часто давление берут из решения задачи обтекания тел в невязкой постановке, которая сама по себе достаточно сложна. В итоге применение приближенных зависимостей становится громоздким и не дает быстрого результата. Поэтому актуальна разработка простой аналитической зависимости для расчета относительного теплового потока [1].

В работе [2] получена точная для сверхзвукового обтекания совершенным газом зависимость распределения давления на сфере. Эта зависимость использована в работе [1] для аналитического определения теплового потока к поверхности сферы Q , отнесенного к соответствующей величине в точке торможения Q_∞ . На основе модификации методики работы [1] получено простое правило определения относительного теплового потока.

Материалы и методы; результаты. В данной работе проведена модификация этой зависимости с целью упрощения ее применения в расчетах тепловых

потоков без потери точности результатов: $\frac{Q}{Q_\infty} = \left(\frac{P}{P_0''} \right)^{3/4}$ (правило степени три четверти). Здесь P — давление на теле; P_0'' — давление в точке торможения.

В работе [3] выведены формулы по распределению давления при сверхзвуковом обтекании на телах достаточно произвольного очертания. Эти фор-

мулы косвенно учитывают и различие в геометрии, т. к. давление на разных контурах отличается друг от друга. Показано как использовать правило степени три четверти в расчетах тепловых потоков для тел, отличных от сферы.

Заключение. Сравнение относительного теплового потока с точными численными результатами в рамках уравнений Навье — Стокса [4, 5] свидетельствует об эффективности предложенного подхода.

Список источников

- [1] Котенев В.П., Сысенко В.А. Моделирование теплообмена на поверхности сферы в потоке газа. *Математическое моделирование и численные методы*, 2023, № 2, с. 90–99.
- [2] Котенев В.П. Точная зависимость для определения давления на сфере при произвольном числе Маха сверхзвукового набегающего потока. *Математическое моделирование*, 2014, т. 26, № 9, с. 141–148.
- [3] Котенев В.П., Сысенко В.А. Аналитические формулы повышенной точности для расчета распределения давления на поверхности выпуклых затупленных тел вращения произвольного очертания. *Математическое моделирование и численные методы*, 2014, № 1, с. 68–82.
- [4] Брыкина И. Г., Сахаров В. И. Сравнение приближенных аналитических и численных решений для тепловых потоков при сверхзвуковом обтекании тел вязким газом. *Механика жидкости и газа*, 1996, № 1, с. 125–132.
- [5] Гупта Р.Н., Гноффо П.А., Маккормак Р.В. Расчет вязкого течения в ударном слое явно-неявным методом. *Аэрокосмическая техника*, 1986, № 2, с. 105–117.