



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Л. А. Вулис, По поводу статьи «К возможности реализации теплового сопла», *ТВТ*, 1973, том 11, выпуск 4, 902–903

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.220.255.141

5 ноября 2024 г., 03:15:44



ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

ПО ПОВОДУ СТАТЬИ
«К ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕПЛООВОГО СОПЛА»

Л. А. Вулис

В № 5 журнала «Теплофизика высоких температур» за 1971 г. опубликована статья А. И. Абросимова, С. Н. Шорина и В. А. Печурина «К возможности реализации теплового сопла». Авторы обсуждают в рамках одномерной схемы результаты своих опытов по сжиганию сжиженного газа в атмосфере кислорода в охлаждаемой цилиндрической камере (трубке внутренним диаметром около 10 мм и длиной $l = 30 d$). В этих опытах, по-видимому, наблюдалось сверхзвуковое истечение продуктов сгорания, о чем свидетельствует приведенная фотография недорасширенной струи с характерной структурой «бочек» и, по мнению авторов, результаты измерения статического давления по длине трубки (см. п. 6). Содержание статьи и, прежде всего, попытка истолкования эксперимента вызывают серьезные возражения. Приведем наиболее существенные из них.

1. Авторы утверждают, что в отличие от монографии [1] ими учтено влияние изменения состава газа на условия перехода через скорость звука. Это неточно. В работах [1, 2] содержится приближенный анализ влияния изменения свойств и состава газа; наиболее подробно вопрос рассмотрен в [3]. При этом, что более существенно, выражения, приведенные в [1–3], согласуются между собой и не совпадают с уравнениями (1) и (2) в цитированной статье.

2. Для течения с теплообменом (подводом тепла за счет горения и отводом через стенку) авторы статьи записывают без вывода уравнения (2) в виде:

$$(M^2 - 1) \frac{dw}{w} = - \frac{k-1}{a^2} dQ_{\text{нар}} - \frac{1}{k-1} \frac{dk}{k}. \quad (2)$$

Между тем (сохраняя те же воздействия справа), следует написать [1–3]:

$$(M^2 - 1) \frac{dw}{w} = - \frac{k-1}{a^2} dQ_{\text{нар}} - \frac{dR}{R},$$

т. е. учесть изменение удельной газовой постоянной смеси, но не показателя адиабаты, прямо не влияющего на локальное изменение скорости течения.

Ошибка при выводе, вероятно, связана с заменой правильной записи дифференциала энтальпии в уравнении энергии $dI = c_p dT$ на $d(c_p T)$, так как при этом получается уравнение (2).

3. Изменение k прямо входит в уравнение обращения воздействий для числа Маха [1–3]:

$$(M^2 - 1) \frac{dM^2}{M^2} = - (1 + kM^2) \left(\frac{k-1}{a^2} dQ_{\text{нар}} - \frac{dR}{R} \right) - (M^2 - 1) \frac{dk}{k},$$

но и здесь знак его не меняется во всем диапазоне $0 < M < \infty$. Иначе говоря, локальное изменение M всегда противоположно по знаку изменению показателя Пуассона.

4. При анализе опытных данных авторов в той же одномерной схеме недопустимо, как это делают авторы, отбрасывать работу трения. Соответствующий (второй справа) член в уравнении для скорости течения

$$(M^2 - 1) \frac{dw}{w} = - \frac{k-1}{a^2} dQ_{\text{нар}} - \frac{k}{a^2} dL_{\text{тр}} - \frac{dR}{R}.$$

одного порядка по величине с тепловым.

А так как конвективная теплообдача к стенкам непосредственно связана с трением (например, для стабилизированного течения приближенной аналогией Рейнольдса), то возникают трудности в осуществлении в критическом сечении при $M = 1$ ус-

ловия, обеспечивающего непрерывный переход через скорость звука:

$$dQ_{ст, кр} = - \frac{1}{k-1} \left(k \cdot dL_{тр} + a^2 \frac{dR}{R} + dQ_{гор} \right)_{кр}.$$

Именно этот вопрос является центральным в реализации теплового сопла при чисто конвективном теплообмене, но он вовсе не обсуждается в статье.

5. Приведенные в статье с учетом изменения состава соотношения (3)—(5) (в одном из них — для плотности газа — следует поменять местами индексы) также относятся к случаю пренебрежения трением. Поэтому указанная авторами близость измеренной кривой статического давления к расчетной по формуле (3) не является доказательством перехода через скорость звука. Грубая оценка падения давления (из уравнения $dp + \rho w dw + \zeta \rho w^2/2 \cdot dx/d_0 = 0$ следует

$$\frac{\Delta p}{p_2} \approx k M_1^2 \left(1 - \frac{w_2}{w_1} + \zeta \frac{\bar{w}}{w_2} \cdot \frac{l}{2d_0} \right)$$

показывает, что перепад давления за счет трения в условиях описанного опыта раза в полтора превышает перепад давления, вызванный подводом тепла, что коренным образом меняет заключение.

6. В свете приведенных замечаний нельзя признать убедительными и соображения, основанные на упомянутых в статье расчетах в предположении равновесного или замороженного состава. Для уверенного анализа опытных данных даже в рамках той же одномерной схемы необходимы дополнительные измерения (кривая тепловыделения или хотя бы температуры по длине трубки) и обоснованные данные о сопротивлении и теплоотдаче в конкретных условиях эксперимента.

7. В действительности в описанном эксперименте велика роль двумерных эффектов — на выходе из трубки (где можно предположить, что недорасширенная струя переходит через скорость звука, расширяясь в своеобразном сопле Лаваля, частично сразу за пределами трубки), а также в зоне косых тепловых скачков в диффузионном факеле. Так или иначе, указанные авторами данные недостаточны для уверенного суждения об опыте, а приведенная попытка толкования лишь уводит от существа дела.

Ленинград

Поступило в редакцию
30 XII 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. В у л и с. Термодинамика газовых потоков. Госэнергоиздат, М.—Л., 1950.
2. А. Н. S h a r i g o. The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow., N. Y., 1953.
3. Л. К р о к к о. В кн. Основы газовой динамики (под ред. Эммонса) (пер. с англ.). Изд. иностр. лит., 1968.