01;04

К вопросу стабилизации течения идеально проводящей сжимаемой плазменной струи

© В.Г. Кирцхалия, И.А. Жвания

Сухумский физико-технический институт,
384914 Сухуми, Абхазия
e-mail: sipt@myoffice.ge

(Поступило в Редакцию 10 февраля 2005 г.)

Приводится анализ результатов, полученных авторами в опубликованной ранее работе [1], из которых следовало, что учет сжимаемости плазмы в определенных условиях может привести к стабилизации течения плазменной струи как плоской, так и цилиндрической конфигурации. Последующие аналитические и численные исследования показали, что такие условия не реализуются и, таким образом, сжимаемость приводит к дестабилизации.

В работе [1] было показано, что дисперсионное уравнение, описывающее собственные колебания идеально проводящей плазменной струи с учетом малой сжимаемости, имеет вид

$$\left[\nu G(\delta)(1+\varepsilon)+1\right]\xi^2 - 2a\xi + a^2 - \nu G(\delta)(1+\varepsilon)b_1^2 - b_2^2 = 0, \quad (1)$$

где ε — малая величина, определяющая влияние сжимаемости на устойчивость струи, а вид функции $G(\delta)$ зависит от конфигурации струи: для плоской $G(\delta) = \operatorname{th}\delta$ монотонно растет от 0 до 1, для цилиндрической $G(\delta, \xi) = I_0(\delta)K_1(\delta)/I_1(\delta)K_0(\delta)$ монотонно убывает от ∞ до 1 при изменении δ от 0 до ∞.

Критическая скорость течения струи, при превышении которой проявляется неустойчивость, находится приравниванием нулю дискриминанта уравнения [1]. Влияние сжимаемости на устойчивость струи определяется знаком разности квадратов критических скоростей для сжимаемой и несжимаемой ($\varepsilon = 0$) струй, которая дается в виде

$$\Delta a_{\mathrm{cr}}^2 = \frac{\nu b_1^2\left[G^2(\delta) - \beta^2\right]}{G(\delta)}\,\varepsilon, \quad (2)$$

где $\beta = b_2/\nu b_1$ — параметр, определяющий оптимальное с точки зрения МГД устойчивости условие течения струи в зависимости от ее конфигурации.

Видно, что знак Δa_{cr}^2 зависит от знаков $[G^2(\delta) - \beta^2]$ и ε и при определенных условиях он может быть положительным, что означает стабилизирующую роль сжимаемости.

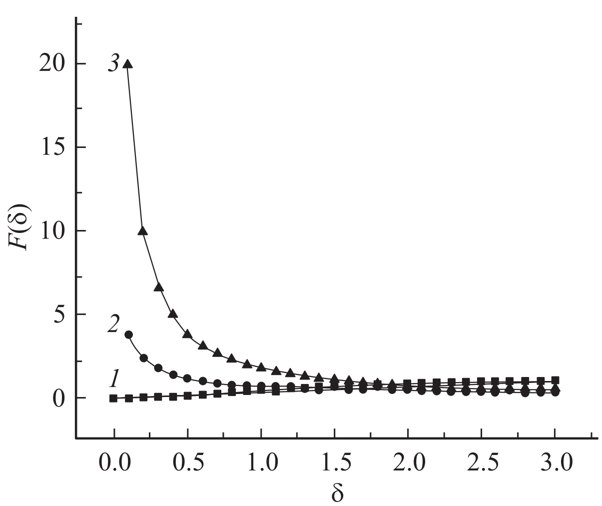
Как показали последующие расчеты, такие условия не реализуются, ибо после определения явного выражения ε по соответствующим формулам из работы [1], получим для плоской струи

$$\Delta a_{\mathrm{cr}}^2 = -\frac{1}{2}\,\frac{\nu b_1^4\left[G(\delta)+\nu\beta^2\right]^2}{\left[\nu G(\delta)+1\right]} \times \left[\frac{\nu^2 G^2(\delta)}{\mu_2^2} + \frac{1}{\nu G(\delta)\mu_1^2}\left(1 - \frac{2\delta}{\operatorname{sh}2\delta}\right)\right] \quad (3)$$

и для цилиндрической струи

$$\Delta a_{\mathrm{cr}}^2 = -\frac{\nu b_1^4\left[G(\delta)+\nu\beta^2\right]^2}{\left[\nu G(\delta)+1\right]}\left\{\frac{\nu^2 G^2(\delta)}{\mu_2^2}\left[1 + \frac{\delta}{2}\left(\frac{K_1(\delta)}{K_0(\delta)} - \frac{K_0(\delta)}{K_1(\delta)}\right)\right] + \frac{1}{\nu G(\delta)\mu_1^2}\left[1 + \frac{\delta}{2}\left(\frac{I_0(\delta)}{I_1(\delta)} - \frac{I_1(\delta)}{I_0(\delta)}\right)\right]\right\}. \quad (4)$$

Учитывая положительность функций, графики которых приведены на рисунке, можно заключить, что правые части выражений (3) и (4), отрицательные величины во всем интервале изменения δ и, следовательно, сжимаемость ведут к дестабилизации струи любой конфигурации при любых условиях течения.



1 — $F(\delta) = 1 - \frac{2\delta}{\operatorname{sh}2\delta}$, *2* — $F(\delta) = \frac{K_1(\delta)}{K_0(\delta)} - \frac{K_0(\delta)}{K_1(\delta)}$, *3* — $F(\delta) = \frac{I_0(\delta)}{I_1(\delta)} - \frac{I_1(\delta)}{I_0(\delta)}$.

Список литературы

[1] *Жвания И.А., Кирцхалия В.Г., Рухадзе А.А.* // ЖТФ. 2004. Т. 74. Вып. 11. С. 132–135.