

03;10;12

Влияние электронного пучка, выводимого через газодинамическое окно в газ, на создаваемый перепад давления

© Л.Н. Орликов, Н.Л. Орликов

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
E-mail: ufo@muma.tusur.ru

Поступило в Редакцию 25 июля 2000 г.

Впервые сообщается о прогнозировании положительного или отрицательного влияния пучка, выводимого через газодинамическое окно с дифференциальной откачкой газа, на создаваемый перепад давления.

Известно [1–3], что повышение энергии выводимого пучка способствует перепаду давления, создаваемому между источником электронов и камерой с газом. Однако на практике пучок может не влиять на перепад давления либо ухудшать его. На рисунке представлена полусимметричная одномерная схема истечения газа (воздуха) между диафрагмами 1, 4 газодинамического окна [4,5], поясняющая изменение параметров газа при выводе пучка.

Газ с расходом Q истекает в газодинамическое окно в виде сверхзвуковой, недорасширенной струи с формированием висячих 2 и поперечного 3 скачков уплотнения давления. До поперечного скачка давления (диска Маха) поток ускоряется и его коэффициент скорости λ возрастает ($\lambda = V/V^*$ — отношение скорости звука в потоке к скорости звука на срезе отверстия). На входе в газодинамическое окно скорость потока соответствует скорости звука ($\lambda = 1$). Далее поток ускоряется до величины λ_a , определяемой отношением давления между диафрагмами P_1 к давлению газа в камере P_0 . В предельном случае $\lambda_a = (k + 1)/(k - 1)$. Для воздуха $\lambda_a = 2.5$. После диска Маха поток замедляется до $\lambda_d = 1/\lambda_a$. Расстояние X_m до диска Маха в свободной

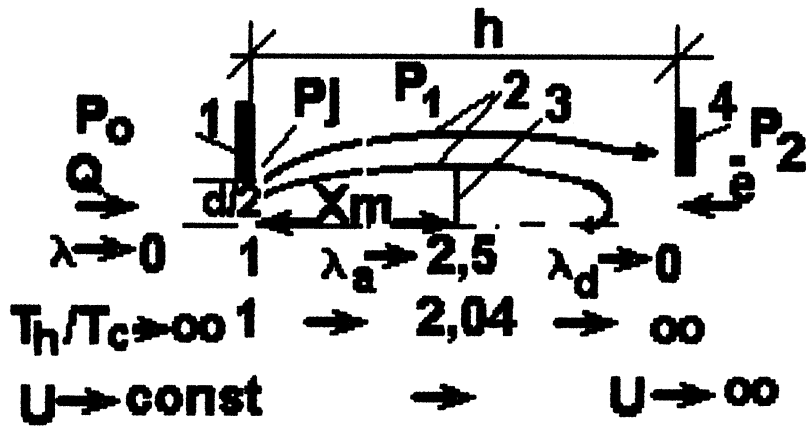


Схема изменения параметров газа в газодинамическом окне.

струе определяется выражением [4]:

$$X_m = 0.7d(kP_j/P_1)^{0.5}, \quad (1)$$

где d — диаметр отверстия истечения газа; k — показатель адиабаты газа (для воздуха $k = 1.4$); P_j , P_1 — давления на срезе диафрагмы I и между диафрагмами. Связь пропускной способности отверстий U , расхода газа Q и коэффициента скорости потока λ от способности газа нагреваться до температуры T определяется выражениями [4]:

$$U \sim (T/M)^{0.5}, \quad (2)$$

$$T_h/T_c = (1 + \lambda_c)^2/4\lambda_c^2, \quad (3)$$

$$Q_c/Q_h = [2T_h/T_c - 1]^{0.5}, \quad (4)$$

где M — молекулярный вес газа. Индексы h и c соответствуют горячему и холодному газу).

В рабочей камере коэффициент скорости потока стремится к нулю, а изменение температуры, согласно (3), стремится к бесконечности ($\lambda \rightarrow 0$; $T_h/T_c \rightarrow \infty$). Из (2) пропускная способность U отверстия d со стороны входа газа остается постоянной, а изменение температуры

и коэффициент скорости стремятся к единице ($\lambda \rightarrow 1$; $T_h/T_c \rightarrow 1$; $U = \text{const}$). До диска Маха поток ускоряется и в нем уменьшается давление. После диска Маха поток замедляется. Согласно (2), после диска Маха поток нагревается, что ведет к росту пропускной способности отверстия в диафрагме 4 ($\lambda_d \rightarrow 0$; $T_h/T_c \rightarrow \infty$; $U \rightarrow \infty$). Из (3) предельное изменение температуры до диска Маха принимает значения от 1 до 2.04. Согласно (4), предельное уменьшение расхода при нагреве газа пучком не может превышать 1.75 раза для воздуха.

Коэффициент изменения давления δ от влияния пучка на перепад давления P_0/P_2 определится из анализа функции изменения полного давления при нагреве газа $f(\lambda)$, значения которой для воздуха [4] приведены в таблице:

Некоторые параметры газового потока							
λ	0	0.5	1	1.5	2	2.4	2.5
$f(\lambda)$	1	1.12	1.27	1.1	0.32	0.002	0

$$f(\lambda) = (\lambda^2 + 1) [1 - (k-1)/(k+1)]^{1/(k-1)} \quad (5)$$

Так как общий перепад давления на газодинамическом окне (P_0/P_2) равен произведению перепадов на каждой диафрагме, то коэффициент изменения давления от пучка выразится как соответствующие произведения значений функции $f(\lambda)$ в области диафрагмы I , в областях до диска Маха и за диском Маха:

$$\delta = [f(0)/f(1)] [f(1)/f(\lambda_a)] [f(\lambda_d)/f(1)] \approx f(\lambda_d)/f(\lambda_a). \quad (6)$$

Таким образом, положительное влияние пучка на перепад давления (P_0/P_2) соответствует условию $f(\lambda_d) > f(\lambda_a)$, а отрицательное — $f(\lambda_d) < f(\lambda_a)$.

Влияние пучка на перепад давления исследовалось с помощью электронного источника на основе высоковольтного тлеющего разряда [6]. Три электронных луча генерируются при напряжениях 15–30 кВ с током до 60 мА при давлении 50 Па и выводятся через отверстия диаметром 0.9 мм в камеру с давлением $P_0 = 10$ кПа. Откачка газодинамического окна и источника проводится автономными насосами

НВПР-16. При малом расстоянии между диафрагмами ($h < X_m$) пучок ухудшает перепад давления, поскольку поток газа состоит в основном из дозвукового участка, в котором велик нагрев газа и соответственно велика пропускная способность отверстия в диафрагме 4. При $h = X_m$ перепадные характеристики устройства с пучком и без пучка не отличались при изменении ускоряющего напряжения или тока разряда. При $h = 2X_m$ ($P_0/P_1 \sim 100$; $\lambda_a = 2.15$; $\lambda_d = 0.46$) пучок способствует уменьшению давления в источнике электронов от 50 до 10 Па. Прямые измерения показывают уменьшение расхода газа при пучке в 1.3 раза. При прекращении пучка (например, из-за пробоя в источнике) соотношение (6) дает величину изменения давления, близкую к экспериментальной:

$$\delta = f(0.46)/f(2.15) = 1.1/0.14 = 7.85.$$

Полученные результаты свидетельствуют, что влияние пучка на создаваемый перепад давления определяется изменением параметров газового потока на диске Маха и может быть положительным, нейтральным или отрицательным.

Список литературы

- [1] Schumacher B.W. // Trans. 8th nat. Vacuum Symposium and 2-nd Int. Congress a Vacuum science and technology. 1961. Washington, 1962. P. 1192–1200.
- [2] Hershcovitch A. // J. Appl. Phys. 1995. V. 78 (9). N 1. P. 5283.
- [3] Schiller S., Heising V., Jasch G. // Schweisttechnik. 1971. V. 21. P. 11–16.
- [4] Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976. 808 с.
- [5] Орликов Л.Н., Чикин Е.В. // ПМТФ. 1985. № 2. С. 3.
- [6] Бычков Ю.И., Королев Ю.Д., Месяц Г.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. В. 9. С. 515–518.