

03;04

Геометрическое и параметрическое управление газовым потоком в газодинамическом окне

© Л.Н. Орликов, Н.Л. Орликов

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

Поступило в Редакцию 24 мая 2001 г.

Впервые сообщается о возможности отклонения газового потока в газодинамических окнах с дифференциальной откачкой газа путем изменения локального профиля выводного элемента или путем изменения локальных параметров газа.

Вывод низкоэнергетических (до 100 eV) электронных пучков через газодинамические окна связан с проблемой минимизации расстояния транспортировки и минимизации производительности откачных средств. Традиционно данная проблема решалась усложнением формы элементов окна или отклонением выводимого пучка от оси отверстий [1,2]. В данной работе рассматривается изменение профиля элемента, из которого газ поступает в окно, а также изменение локальной температуры потока за счет разряда. Это позволяет отклонить поток газа от выводного отверстия источника электронов и тем самым решить проблему минимизации расстояния и откачных средств. На рисунке представлена схема течения газа в газодинамическом окне со срезом элемента. Если элемент срезан под углом, то поток газа Q расширяется сначала в том месте, где скорее достигает вакуума (сначала в точке a , а затем в точке b). Это приводит к возникновению градиента давления поперек струи и отклоняет поток газа от оси отверстий (геометрическое управление). Между элементами окна реализуется статическое давление P_1 , которое в 5–6 раз меньше напорного давления струи P^* . Давление газа P_3 в окрестности точки a вне зоны расширения потока соизмеримо с давлением P_1 . В итоге при геометрическом управлении перепад давления на окне (P_k/P_2) при увеличении расстояния между элементами ($h > 2d$) не зависит от формы элемента 2, а эффективность использования насоса, откачива-

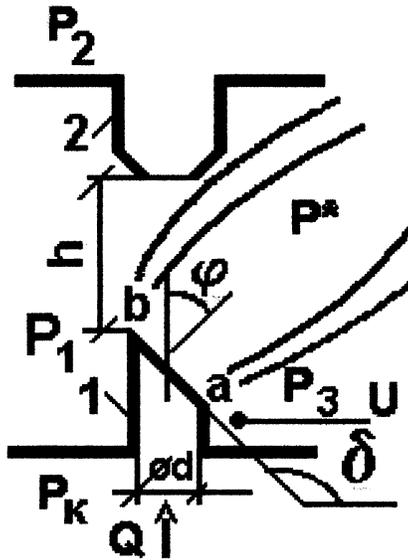


Схема течения газа в газодинамическом окне.

ющего газ между элементами, резко возрастает. Угол среза элемента ϕ определится как дополнительный угол к предельному углу поворота потока δ при расширении газа в абсолютный вакуум [3]:

$$\varphi = \pi - \left\{ \left[\frac{(k+1)}{(k-1)} \right]^{0.5} - 1 \right\} \pi / 2, \quad (1)$$

где k — показатель адиабаты газа. (Для воздуха при $k = 1.4$ предельное значение $\delta = 130^\circ 27'$; $\varphi = 49^\circ 33' \approx 50^\circ$).

Воздействие на параметры потока (параметрическое воздействие) может достигаться изменением давления P_k перед газодинамическим окном или локальным температурным воздействием на поток в точке a посредством зажигания разряда в окне [4]. При зажигании разряда наблюдается явление термобароэффекта, при котором разность температур вызывает разность давлений. Величина изменения давления поперек струи P_1/P_3 может быть оценена из соотношения параметров

при стационарном тепловом процессе в потоке газа [3]:

$$P_1/P_3 = 1 + k(\lambda^2 - 1)/(\lambda^2 + 1), \quad (2)$$

где λ — табличный [3] коэффициент скорости потока: отношение скорости потока к скорости звука в неподвижном газе. (Для воздуха при $P_1/P_k = 1$ и $\lambda = 0$ газ неподвижен; при $P_1/P_k = 0.528$ и $\lambda = 1$ скорость потока равна скорости звука; при $P_1/P_k = 0$ и $\lambda = 2.45$ скорость потока достигает теоретического предела). В известных газодинамических окнах по энергетическим соображениям перепад давления на элементе 1 не превышает двух-трех порядков. При теоретически возможном для воздуха коэффициенте скорости потока λ , не превышающем 2.45, предельная величина изменения давления, определенная по соотношению (2), близка к двум ($P_1/P_3 \approx 2$).

При зажигании разряда непосредственно у выводного отверстия элемента 2 вокруг него формируется зона локального изменения параметров, эквивалентная изменению геометрической формы элемента. Влияние формы элемента 2 на перепад давления через окно ослабевает.

Экспериментальная проверка эффекта геометрического и параметрического управления потоком проводилась на системе [5] с выводом пучка из трехканального газоразрядного электронного источника в атмосферу через элементы в виде трубок с пролетными отверстиями диаметром по 1 мм. Угол среза элемента составил 50° . При откачке окна водокольцевым насосом ВВН-3 до давления 10 кПа и источника электронов до давления P_2 , равного 50 Па, вакуумным насосом ВН-7 угол отклонения потока, измеренный по автографу аэрозоли, составил 25° . Введение электрода в область точки a позволяет зажечь разряд при напряжении U , равном 3000 В и токе до 1 А, и достичь уменьшения давления в источнике электронов от 150 до 50 Па. В итоге вследствие отклонения газового потока, удалось уменьшить расстояние между элементами окна до двух диаметров выводных отверстий при сохранении минимального давления в источнике электронов. При уменьшении давления приоритет в создании перепада давления переходит от систем с газодинамическими эффектами к электроразрядным системам. Необходимая для работы системы мощность откачных средств уменьшена от 5 до 1.2 кВт/мм² площади отверстия. В газодинамических окнах, ограниченных по расстоянию транспортировки пучка, отклонение газа более перспективно, чем отклонение пучка.

Список литературы

- [1] *Schumacher B.W.* // Transactions of the 8th National Vacuum Symposium and 2nd International Congress on Vacuum Science and Technology. 1961. Washington: Pergamen Press, 1962. P. 1192–1200.
- [2] *Орликов Л.Н.* // ПТЭ. 2001. Т. 1. С. 137–139.
- [3] *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. М: Наука, 1976. 808 с.
- [4] *Орликов Л.Н.* Электронно-лучевые устройства с виртуальными элементами для обработки материалов при атмосферном давлении. Тез. 4 Межд. науч.-практ. конф. "Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири" (СИБРЕСУРС-98). Барнаул, 21–23 сент. 1998 / Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 1998. С. 227–228.
- [5] *Бычков Ю.И., Королев Ю.Д., Месяц Г.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. В. 9. С. 515–518.