

## Проводимость трубопровода в молекулярном режиме течения газа

Демидович Д. В., студент,

Савчук Д. О., студент

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Босяков М. Н.*

Аннотация.

В статье показано, как изменяется поток газа, который откачивается диффузионным насосом, если откачиваемые газы разные, а магистраль рассчитана по формулам для воздуха.

При высоком вакууме проводимость трубопровода в молекулярном режиме течения газа зависит от его массы, поэтому расчетное значение эффективной скорости откачки, полученное для воздуха, при течении по трубопроводу другого газа, будет другим. Это приведет к тому, что для поддержания заданного давления в камере при использовании диффузионного насоса необходимо будет задавать расход конкретного газа, отличный от рассчитанного для воздуха.

В молекулярном режиме проводимость длинного трубопровода:

$$U = 38,1 \cdot \frac{d^3}{l} \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода, м;

$l$  – длина трубопровода, м;

$T$  – температура, К;

$M$  – масса газа, отн. ед. массы.

Для расчета проводимости короткого трубопровода наиболее удобна форма записи расчета выражения, предложенная Клаузингом:

$$U = 36,4 \cdot k \cdot F \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент Клаузинга [1];  
 $F$  – площадь сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.  
 Коэффициент использования насоса:

$$K_{и} = \frac{U}{S_{н} + U}. \quad (3)$$

Эффективная скорость откачки насоса:

$$S_{эф} = \frac{S_{н} \cdot U}{S_{н} + U}. \quad (4)$$

Для турбомолекулярного насоса существует различие в скорости откачки в зависимости от того, какой газ откачивается, а для диффузионного насоса такой зависимости нет. Поэтому в стационарном режиме работы высоковакуумной системы при фиксированном рабочем давлении, расход газа, рассчитанный для воздуха, может отличаться, если откачиваться будет другой газ. Для выяснения степени отличия в значении газового потока проведем расчет для диффузионного насоса Н-100/350, у которого скорость откачки 250 л / с, диаметр впускного патрубка – 100 мм. Рабочее давление  $5 \times 10^{-3}$  Па. Предположим, что насос подключается к вакуумной камере через магистраль длиной 1500 мм. Следовательно, так как магистраль является короткой ( $L / d = 15$ ), расчет проводимости проводим по формуле для короткого трубопровода (2). В качестве рабочих газов рассмотрим воздух, азот, аргон, водород, кислород и метан. Характеристики газов и проводимость трубопровода представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные по газам

$M$	Газ	$\sqrt{\frac{293}{M}}$	$A = 36,4 \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}$	$U_{тр} = 0,789 \cdot A$	$k$
29	Воздух	3,179	116	$91d^2$	1
28	N <sub>2</sub>	3,235	118	$93d^2$	1,02
40	Ar	2,706	98	$77d^2$	0,85
2	H <sub>2</sub>	12,104	441	$346d^2$	3,8
16	CH <sub>4</sub>	4,279	156	$122d^2$	1,34
32	O <sub>2</sub>	3,028	110	$86d^2$	0,95

Вначале рассчитываем эффективную скорость откачки, проводимость трубопровода и коэффициент использования насоса по воздуху, а затем по другим газам: по азоту, аргону, водороду, метану и кислороду и вычисляем значение потока газа  $Q$ , при котором для данных газов рабочее давление составит  $p = 5 \times 10^{-3}$  Па. Расчетные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные данные

Газ	$U_{тр}$	$S_{эф}$	$K_u$	$Q$
Воздух	0,909	0,2	0,78	0,001
N <sub>2</sub>	0,943	0,2	0,79	0,001
Ar	0,658	0,18	0,72	$9 \cdot 10^{-4}$
H <sub>2</sub>	13,147	0,25	0,98	$1,25 \cdot 10^{-3}$
CH <sub>4</sub>	1,639	0,22	0,87	$1,1 \cdot 10^{-3}$
O <sub>2</sub>	0,822	0,19	0,77	$9,5 \cdot 10^{-4}$

Проведенные расчеты показали, что если в вакуумной системе используется диффузионный насос, то для корректировки эффективной скорости откачки, обусловленной изменением проводимости трубопровода в зависимости от типа откачиваемого газа, нужно использовать устройство, позволяющее варьировать пропускную способность магистрали, например, затвор с изменяемым условным диаметром.

### Список использованных источников

1. Демихов, К. Е. Вакуумная техника: справочник / К. Е. Демихов [и др.]; под общ. ред. К. Е. Демихова, Ю. В. Панфилова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2009. – 590 с.