

3. Schulz, O., M^uller G., Lloyd M., Ferber A. Impact of environmental parameters on the emission intensity of micromachined infrared sources // Sensors and Actuators – 2005. – V. A 121. – P. 172–180.

4. Dmitriev, V. K.. Thermostable resistors based on diamond-like carbon films deposited by CVD method / V. K. Dmitriev, V. N. Inkin, G. G. Kirpilenko, B. G. Potapov, E. Ilyichev, E.Y. Shelukhin // Diamond and related materials – 2001. – V.10. – P.1007–1010.

5. Мьюрарка, Ш. Силициды для СБИС / Ш. Мьюрарка. – М.: Мир, 1986. – 176 с.

УДК 621.52

Расчет вакуумных систем

Сивак Д. И., студент,

Делендик М. В., студент

Белорусский национальный технический университет

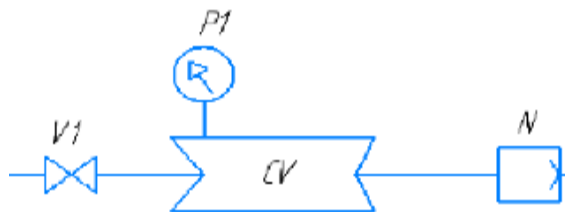
Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Босяков М. Н.

Аннотация:

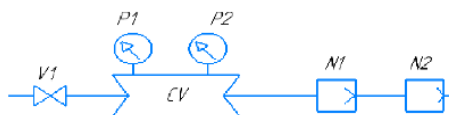
Анализируется методика расчета вакуумных систем, которая включают: определение состава, количества и типа вакуумных насосов, определение размеров трубопроводов и расчет их проводимости в зависимости от геометрических размеров, выбор вакуумной запорной арматуры и приборов для контроля и измерений вакуумной среды.

Вакуумная система – совокупность взаимосвязанных устройств для создания и поддержания вакуума, приборов для вакуумных измерений, а также откачиваемых сосудов и связывающих их вакуумных трубопроводов. Такие системы бывают для низкого, среднего и высокого вакуума. Типовые простейшие вакуумные системы для низкого вакуума изображена на рисунке 1 и для высокого и среднего вакуума на рисунке 2.



CV – вакуумная камера; V1 – клапан (общее обозначение); N – вакуумный насос (общее обозначение) для низкого вакуума.

Рис. 1 – Схема типовой вакуумной системы для низкого вакуума



CV – вакуумная камера; V1 – клапан (общее обозначение); N1 – вакуумный насос (общее обозначение) для высокого и среднего вакуума; N2 – вакуумный насос (общее обозначение) для низкого вакуума.

Рис. 2 – Схема типовой вакуумной системы для среднего и высокого вакуума

Расчет вакуумной системы проводится с целью подбора вакуумного оборудования. К такому оборудованию относятся вакуумные насосы, клапана, затворы, измерительные приборы давления, ловушки, отражатели. Которые будут обеспечивать и поддерживать среду, необходимую для проведения технологических операций, которые невозможны без наличия вакуума.

Для выполнения расчета вакуумной системы необходимо задать следующие параметры: 1) суммарное технологическое натекание и газовыделение Q ; 2) рабочее давление p в вакуумной камере; 3) время, зависящее от режима работы (время в стационарном режиме t_c или время в нестационарном режиме $t_{ис}$); 4) размеры откачиваемого объекта (диаметр, высота) [2].

Большинство технологических операций проводится в стационарном режиме. Для стационарного режима необходимо выполнение условия равенства скорости газовой выделенности S_Q внутри вакуумной камеры и эффективной скорости откачки S_0 . Исходя из заданных значений Q и p по формуле (1) находится эффективная скорость откачки S_0 :

$$S_0 = Q/p. \quad (1)$$

Затем, задаваясь определенным количеством элементов вакуумной системы между насосом и камерой (трубопроводы, затворы, ловушки) по соответствующим графикам из [2] определяется оптимальное значение коэффициента использования насоса K_n , после чего по формуле (2) определяется номинальное значение быстроты откачки насоса.

$$S_{m1} = Q/(K_n \times p - p_{np}), \quad (2)$$

где p_{np} – предельное давление работы насоса.

При ситуации, когда не удастся подобрать насос с необходимой быстротой действия, то можно использовать параллельное или последовательное соединение насосов. Параллельное соединение – это такой вид соединения насосов, при котором эффективные быстроты откачки будут находиться суммированием эффективной быстроты откачки всех насосов. Последовательное соединение насосов – это такой вид соединения, когда рабочее давление p_i для насосов определяется по формуле (3). Для насосов, которые сжимают газ, необходимо принимать максимальное выпускное давление предыдущего насоса, а для сорбционных насосов – их наибольшее рабочее давление $p_{v(i-1)}$.

$$p_i = p_{v(i-1)} / \eta, \quad (3)$$

где η – коэффициент запаса, который в расчетах можно принимать $\eta = 2$.

По известным значениям S_{mi} и K_{ei} рассчитывается общая проводимость участка от вакуумной камеры до насоса – формула (4). Так же общая проводимость может выражаться в виде суммы проводимостей отдельных элементов вакуумной системы.

$$U_{oi} = S_{mi} \times K_{ei} / (1 - K_{ei}), \quad (4)$$

где U_{oi} – проводимость участка вакуумной системы от первого насоса или до i -го насоса или откачиваемого объекта.

Коммутационную аппаратуру – ловушки, клапаны, затворы – выбирают по каталогам. В случае отсутствия в каталоге значений проводимости, например, затвора в молекулярном режиме течения газа, проводится расчет с использованием данных по геометрии данного элемента [2]. В данном случае затвор рассматривается как короткий трубопровод с внутренним диаметром D_u , а длина его равна высоте H и расчет проводится по формуле проводимости короткого трубопровода:

$$U_{м\ кр\ т} = 91 \times d \times K, \quad (5)$$

где K – коэффициент Клаузинга [2].

При расчете вакуумной системы в молекулярном режиме течения необходимо учитывать не только проводимость затворов, ловушек, но и геометрию трубопровода. Ведь, такие элементы как: изгибы (колена), плавные расширения (диффузоры) или сужения (конфузоры), резкие переходы от одного диаметра к другому будут оказывать непосредственное влияние на проводимость трубопровода, что в свою очередь окажет влияние на быстроту откачки. Важным фактором при расчете проводимости трубопроводов является также то, какой трубопровод – длинный или короткий, это определяется из отношения длины (l) к диаметру (d). При соотношении $l/d > 20$ считается, что трубопровод является длинным, если же $l/d < 20$, то трубопровод является коротким [2].

Так, в вязкостном режиме, проводимость длинного трубопровода будет определяться по формуле (6) и для короткого по формуле (7).

$$U_{в\ дл\ т} = 1360 \times p \times d^4 / l, \quad (6)$$

$$U_{в\ кт\ т} = U_{в\ дл\ т} / K_1, \quad (7)$$

где K_1 – коэффициент, значение которого выбирается из таблицы 1.

Таблица 1 – Значение коэффициента K_1 .

$10^3 \times l / (d \times R_e)$	2	4	8	12	16	20	24	28
K_1	1,9	1,7	1,46	1,32	1,22	1,14	1,1	1,09

В молекулярном режиме проводимость длинного и короткого трубопроводов будет определяться по формулам (5) и (8) соответственно.

$$U_{\text{м дл т}} = 121 \times d^3 / l \quad (8)$$

В молекулярно-вязкостном режиме проводимость трубопровода определяется по формуле (9).

$$U_{\text{м-в. т}} = U_{\text{в}} + b \times U_{\text{м}}, \text{ где } b = 0,9. \quad (9)$$

Методика расчета вакуумной системы в [2] предполагает, что весь трубопровод рассчитывается по формуле длинного трубопровода, однако это может быть использовано только при расчете магистралей, имеющих отношение $l/d > 20$. Как показывает анализ конструкций высоковакуумных систем (каталог предприятия СЗОС), магистрали в них являются короткими, а диаметр трубопровода равен диаметру входного патрубка насоса. Если проводимость таких трубопроводов считать по формулам для длинных, то это приведет к ошибке в определении эффективной скорости откачки.

Список использованных источников

1. Босяков, М. Н. Расчет вакуумной системы установки с разработкой / М. Н. Босяков, В. М. Комаровская, Ю. И. Суша // Минск, БНТУ, 2020. – 130 с.
2. Розанов, Л. Н. Вакуумная техника: учебник для вузов / Л. Н. Розанов // 3-е издание, перераб. и доп. – М.: Высшая шк., 2007. – 391 с.