

сложности нахождения ряда эмпирических коэффициентов при определении основных размеров эжектора для заданных параметров в рабочей точке наиболее удобно использовать простую эмпирическую методику. Построение же характеристик насоса, анализ изменения его параметров, в зависимости от различных факторов, могут быть произведены с помощью необходимых теоретических соотношений.

УДК 621.52

Вишневский В.Ч.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: Иванов И.А.*

При реализации технологических процессов в вакуумных камерах, у которых много больше двух других размеров, а газовыделение стенок и поток газов на удаленном от насоса участке рабочей камеры достаточно велики, может возникать значительная разница давлений на участках рабочей камеры. Эта проблема особенно характерна для оборудования нанесения тонкопленочных покрытий в вакууме на поверхности больших площадей реактивным методом. К таким покрытиям относятся износ- и коррозионно-стойкие покрытия на листовых заготовках из сталей, антибликовые покрытия на экранах электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), энергосберегающие низкоэмиссионные покрытия на архитектурных стеклах и др.

Известные методы расчета вакуумных и газовых систем не позволяют решить вопросы анализа параметров трехмерных вакуумных камер со сложной геометрией, к которым можно отнести и технологическое оборудование для нанесения многослойных покрытий на большую площадь поверхности.

Для этих целей используют метод статистических испытаний Монте-Карло. Он позволяет провести такой анализ, и оценить,

распределение молекулярных концентраций в объеме вакуумной Камеры. Движение молекул подчинено законам статистической физики может быть описано величинами, носящими случайный характер. К таким величинам относятся:

- абсолютное значение и направление вектора скорости отдельно взятой молекулы;
- возможность ее поглощения или отражения стенкой вакуумной камеры при соударении;
- направление движения молекулы после отражения.

Цель: провести применимости метода Монте-Карло для расчета вакуумных объёмов со значительными различиями в линейных размерах.

В качестве расчетной была выбрана вакуумная камера в виде параллелепипеда длиной $l=1000$ мм и сечением 100×100 мм. Откачной патрубком расположен на краю нижней стенки камеры у одного из торцов, а натекаТЕЛЬ для напуска газа размещен на противоположном торце камеры.

Очевидно, что при таком расположении патрубков откачки и напуска имеет место градиент давлений по длине камеры. Рассчитаем изменение давления для выбранной конфигурации при молекулярном режиме течения газа.

Рассчитаем изменение давления для выбранной конфигурации при молекулярном режиме течения газа.

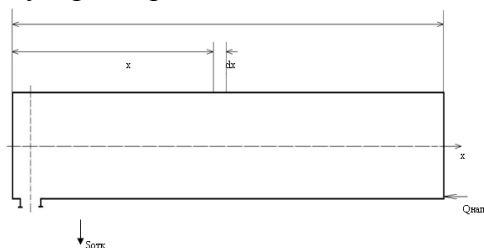


Рисунок 1 – Схема вакуумной камеры, используемой для проверочного расчета

Для воздуха при температуре 293 К проводимость трубопровода с квадратным поперечным сечением равна

$$U_m = \frac{(1,71 \times 10^2) a^3}{l}, \quad (1)$$

где a – размер сечения трубопровода; l – длина трубопровода.

Формула применима при $l \gg a$.

Представив уравнение (1) в виде

$$U_m = \frac{a}{l},$$

можно записать, что падение давления на участке трубопровода длиной dx будет равно:

$$\Delta p = (q_1 \rho c (l - x) \Pi / (a/dx)),$$

Подставив в уравнение значения габаритов сечения трубопровода, получим значение коэффициента $\alpha = 1,71 \cdot 10^{-1}$.

Подставив все числовые значения, получим окончательную формулу зависимости распределения давления по оси x камеры

$$p_x - p_0 = \frac{6,8 \cdot 10^2 \left(1000x - \frac{x^2}{2} \right) + 10^{-2} x}{1,71 \cdot 10^{-1}}.$$

По длине трубы наблюдается параболический закон изменения давления. Для проверки работы программы расчета распределения давления, в соответствии с выбранным методом моделирования, была составлена модель вакуумной камеры, геометрически аналогичная модели, использованной в аналитическом расчете.

Для разбиения камеры на элементарные поверхности был выбран шаг в 100 мм. Такое разбиение удобно контролировать и сравнивать с аналитическим расчетом. Геометрическая модель была обработана с помощью расчетной программы. В качестве тестовых было запущено 10000 молекул. Расчет зависимости молекулярной концентрации в точке с координатами x, y, z проводился по формуле

$$n(x, y, z) = \frac{Q(t)\Delta t}{\Delta V},$$

где $Q(t)$ – общее число молекул, поступающих в камеру за $t = 1$ с; n – общее число молекул; Δt_i – продолжительность пребывания i -й молекулы.

Результаты аналитического и машинного расчетов представлены в виде графиков распределения давления на одной координатной сетке. Разность результатов расчета составила не более 10 %, что позволяет говорить об адекватности выбранной методики расчета и ее компьютерной реализации.

Выводы: Среди других методов метод Монте-Карло выделяется своей наглядностью, простотой и общностью. Его можно рассматривать как универсальный метод вакуумно-технических расчетов. Прослеживая траектории достаточно большого числа молекул, можно получить наглядную картину течения газа и вычислить средние локальные параметры газа, а также интегральные характеристики элементов вакуумной системы и системы в целом. Теоретически возможности метода ограничены только быстродействием и объемом памяти вычислительной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пипко, А.И. Конструирование и расчет вакуумных систем / А.И. Пипко, В.Я. Плисковский, Е.А. Пенчко. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1979. – 504 с.
2. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника / Л.Н. Розанов. – 3-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2007. – 75 с.
3. Саксаганский, Г.Л. Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах / Г.Л. Саксаганский. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.