

ЗАВИСИМОСТЬ КИНЕТИКИ АДсорбЦИИ

А.Б. КОНЮШКОВА, П.Н. ЗОБКОВ, В.И. ИВАНОВ,
А.Л. ШРАМОВА
СПбГУНиПТ

A linear dependence of nitrogen cryoadsorption pump out speed from the sorbent NaX temperature has been experimentally established. In the temperature range 78 – 110K the temperature coefficient of the pump out speed is 0,031.

При испытании ряда газодинамических систем, таких, как ракетные двигатели или химические лазеры, необходимо в течение нескольких секунд откачивать значительные количества газов и поддерживать в камерах натекания вакуум порядка $10^0 \dots 10^3$ Па.

Из всех средств откачки в данном режиме наиболее приемлемыми по массогабаритным и энергетическим показателям являются криогенные адсорбционные насосы [3].

Создание эффективных криоадсорбционных вакуумных насосов для указанных целей требует четкого представления об изменении температурного поля в слое сорбента в процессе откачки и о соответствующем изменении скорости откачки отдельных элементарных слоев сорбента в зависимости от их текущей температуры.

Основная причина разогрева адсорбента – выделяющаяся теплота сорбции, которая пропорциональна локальной скорости откачки, определяемой локальной температурой адсорбента. Таким образом, в процессе откачки в слое адсорбента возникает и непрерывно растет градиент температуры. Вследствие низкой теплопроводности слоя адсорбента температура наиболее удаленных от криопанели слоев может превышать температуру криопанели на несколько десятков градусов.

С одной стороны, повышение температуры сорбента ведет к ускорению проникновения молекул в его поры, так как коэффициент диффузии D растет [2]:

$$D = D_0 \exp(-E/RT).$$

С другой стороны, с повышением температуры возрастает интенсивность обратного процесса – десорбции ранее поглощенных молекул и, как следствие, снижается удерживающая способность

сорбента, т. е. его удельная емкость. Это видно как из уравнения Генри

$$a = Bp \exp(A/T),$$

так и из уравнения Дубинина - Радускевича [1]

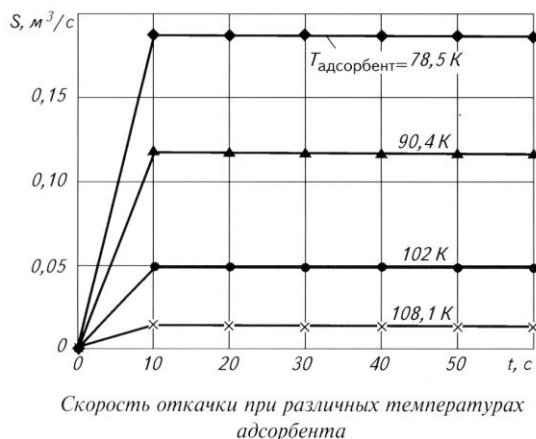
$$a = (\omega_0/v) \exp \{-B (T^2/\beta^2) [\lg (p_0/p)]^2\},$$

в которых температура сорбента T является аргументом.

Цель данной работы состояла в том, чтобы экспериментально определить температурную зависимость скорости откачки. Это позволит после разбивки слоя адсорбента на несколько элементарных слоев рассчитать численным методом скорость откачки каждого i -го слоя S_i , которая является функцией температуры T_i i -го слоя. Далее определяется теплота сорбции q_i , выделяющаяся в каждом i -м слое за малый, но конечный промежуток времени и после этого находятся новые значения температур в каждом i -м слое. Затем определяются новые значения S_i , q_i и т. д.

В качестве адсорбента был использован цеолит NaX в количестве 0,352 кг, размещенный на плоской криопанели слоем в 16 мм. Криопанель можно было термостатировать при любой температуре в диапазоне 78...120 К путем изменения расхода криоагента через нее. Криопанель с адсорбентом размещалась в камере объемом 0,025 м³. Стенки камеры имели температуру ≈ 80 К.

Откачиваемый газ (азот) подавали в камеру, предва-



рительно охладив до ≈ 85 К. Перед измерением скорости откачки при той или иной температуре адсорбента его регенерировали. Регенерация заключалась в нагреве криопанели и камеры до 470 К и выдержке под вакуумом (10^{-1} Па) в течение 3 ч.

Результаты исследования приведены на рисунке, из которого следует, что стабилизация скорости откачки наступала в течение первых 10 с после начала подачи откачиваемого газа в камеру и не менялась последующие 50 с. В течение указанного времени выделяющаяся теплота сорбции вызывала повышение температуры адсорбента не более чем на 1 К. Таким образом, можно считать, что температура адсорбента в продолжение первых 60 с откачки оставалась практически неизменной. Во всех опытах степень насыщения адсорбента газом не превышала 0,2.

Анализ полученных данных позволил определить зависимость скорости откачки от температуры адсорбента. В интервале температур 78...110 К она оказалась линейной и может быть выражена уравнением

$$S = S_0 [1 - B(T - T_0)],$$

где S_0 – исходная скорость откачки при температуре адсорбента $T_0 = 78$ К;

S – текущая скорость откачки при температуре адсорбента T ;

B – температурный коэффициент скорости откачки.

В указанном выше интервале температур коэффициент B для цеолита NaX оказался равным 0,031. Следует отметить, что выбранный для исследования интервал температур перекрывает реальное изменение температуры адсорбента в эксплуатируемых криоадсорбционных вакуумных насосах, охлаждаемых жидким азотом.

Список литературы

1. Вакуумная техника: Справ./ Под ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. – М.: Машиностроение, 1992.
2. Тимофеев Д. П. Кинетика адсорбции. – М.: Изд. АН СССР, 1963.
3. Moor B.C. Cryopump for large pulses of hydrogen. 12-th space simulation conference, 1982.