

11401901

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской
Революции и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

УДК 621.528

РОМОЧКИН ЮРИЙ ГЕННАДИЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВАКУУМНОГО АДСОРБЦИОННОГО НАСОСА
С СОБЕРИРУЮЩИМИ ПАНЕЛЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Специальность 05.04.06 - Вакуумная и компрессорная
техника

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1982

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Е.С. Фролов

Научный консультант - доктор химических наук, профессор
В.В. Серпинский

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Л.Н. Розанов

кандидат технических наук, доцент
М.И. Дьячков

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного Совета

Защита диссертации состоится "21" окт 1983 г.
в 14 час. 30 мин. на заседании специализированного Совета К.053.15.07 "Криогенные, холодильные, гидравлические, вакуумные и компрессорные машины и аппараты" МВТУ им.Н.Э.Баумана, по адресу: 107005, г.Москва, Лефортовская набережная, д.1, корпус факультета "Энергомашиностроение".

Автореферат разослан

Ваши отзывы в 2-х экземплярах высылать по адресу д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана

Ученый секретарь специализированного Совета
кандидат технических наук

№ 401901

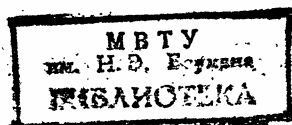
1401901

Актуальность темы. Развитие многих важнейших отраслей промышленности в настоящее время невозможно без использования высокого вакуума, являющегося необходимой средой для протекания ряда технологических и физических процессов. Широкое применение адсорбционных методов получения вакуума вызвано возрастающими требованиями к отсутствию загрязнения парами масел остаточной газовой атмосферы. Адсорбционные вакуумные насосы, удовлетворяя требованию чистоты создаваемого вакуума, имеют преимущества в простоте конструкции и экономичности. Этим обусловлено их широкое применение при вакуумном напылении тонких пленок, при откачке имитаторов космического пространства, в экспериментальных исследованиях по физике атомного ядра. Откачка газа адсорбентом, охлажденным до криогенных температур, представляет собой один из наиболее перспективных методов, используемых для создания насосов с быстротой действия свыше $100 \text{ м}^3/\text{с}$. При создании таких насосов возрастает важность вопросов рационального размещения больших количеств адсорбента, обеспечения его равномерного охлаждения и свободного доступа откачиваемого газа. Определение оптимальных геометрических параметров панелей, образующих сорбционную систему насоса позволяет существенно повысить его быстроту действия, снизить габаритные размеры и вес конструкции, ускорить выход на рабочий режим. В результате выполненного исследования получены рекомендации по выбору формы и размеров сорбционных систем и их элементов, необходимые для создания компактных конструкций насосов. В связи с этим, тема настоящей работы представляется актуальной.

Цель работы – получение практических рекомендаций по выбору формы и размеров сорбционных систем и их элементов при работе насоса в молекулярном режиме течения откачиваемого газа, исходя из условия получения максимальной быстроты действия при минимальных габаритных размерах насоса.

Научная новизна работы состоит в разработке теоретической модели процесса откачки газа высоковакуумным адсорбционным насосом, рассматривающей взаимосвязанные процессы молекулярного течения газа в системах, образованных сорбирующими панелями различной формы, адсорбции газа слоем адсорбента, теплообмена излучением, позволяющей определить оптимальные геометрические параметры сорбционных систем наиболее распр

I



НТБ МТУ им. Н. Э. Баумана



1401901

Ромочкин Ю. Г. Исследование

траненных типов, при которых быстрота действия имеет максимальную величину.

Практическая ценность работы:

- разработаны алгоритмы и программы расчета откачных характеристик сорбционных систем при работе насоса в режиме поддержания вакуума;
- определены наиболее эффективные типы сорбционных систем;
- получены рекомендации по выбору геометрических параметров сорбционных систем, обеспечивающих в молекулярном режиме течения откачиваемого газа максимальную быстроту действия насоса;
- получены рекомендации по выбору размеров элементов сорбционных панелей: толщины слоя адсорбента, длины и толщины охлаждаемых поверхностей;
- разработана методика расчета сорбционной системы насоса на заданную быстроту действия и продолжительность откачки.

Апробация и внедрение результатов исследования.

Основные положения диссертационной работы докладывались на Всесоюзном симпозиуме "Состояние и перспективы разработки и производства новых видов вакуумного оборудования" г.Казань, 1981 г. . Содержание диссертации обсуждалось на заседаниях кафедры "Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты" МВТУ им.Н.Э.Баумана. Результаты работы использовались при выполнении научно-исследовательских работ №ГР 80068906, №ГР 81069225. Теоретическая модель процесса откачки газа высоковакуумным адсорбционным насосом и методы расчета геометрических параметров сорбирующих панелей используются в НПО Криогенмаш в создаваемых высоковакуумных криосорбционных насосах, предназначенных для откачки неконденсируемых газов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, выводов, описки литературы из 91 наименования и приложения. Работа изложена на 172 страницах, в том числе, включает 53 рисунка, 7 таблиц основного текста и 7 страниц приложения.

Содержание работы. Во введении обоснована актуальность темы, поставлена цель работы, показана научная и практическая значимость выполненного исследования.

В главе I ("Теоретические и экспериментальные исследования, конструкции адсорбционных насосов") проводится обзор работ, посвященных изучению откачных характеристик адсорбционных насосов, рассматриваются различные варианты их конструкций, методы охлаждения адсорбента и способы изготовления сорбционных панелей, исследуются возможные пути повышения скорости действия. Как показал проведенный анализ, для создания компактных конструкций насосов с высокой скоростью действия целесообразно использовать сорбционные системы, образованные охлаждаемыми панелями с адсорбентом. Для повышения характеристик таких систем необходимо учитывать особенности молекулярного режима течения газа. В связи с этим, рассматриваются различные подходы к их расчету. Исследование опубликованных работ показало, что вопросы влияния геометрии сорбционной системы на откачные характеристики адсорбционного насоса остаются малоизученными. Отсутствует достаточно полная и дающая количественные результаты теоретическая модель насоса, в которой рассматривались бы взаимосвязанные процессы течения разреженного газа, адсорбции, теплообмена. Всестороннее изучение данного вопроса требует сочетания теоретических и экспериментальных методов исследования. При этом, разработка теоретической модели, учитывающей влияние на характеристики насоса геометрической конфигурации сорбционной системы, свойств слоя адсорбента, теплового излучения, продолжительности откачки и других факторов, позволяет исследовать различные варианты конструкции, с тем, чтобы выявить оптимальные. Использование вычислительной техники дает возможность выполнить большой объем расчетной работы. Основные задачи работы состояли в следующем:

- разработка теоретической модели процесса откачки газа высоковакуумным адсорбционным насосом с сорбирующими панелями различной формы, рассматривающей взаимосвязанные процессы молекулярного течения газа в сорбционной системе, адсорбции, теплообмена;
- определение оптимальных геометрических параметров сорбционных систем и их элементов, получение практических рекомендаций по их конструированию;

- проведение экспериментальных исследований с целью проверки теоретической модели.

Глава 2 ("Теоретическая модель откачки газа адсорбционным высоковакуумным насосом") посвящена изложению теоретической модели. При ее разработке принимались следующие основные допущения:

- насос работает в молекулярном режиме течения газа;
- на входную поверхность поступает поток газа, в котором распределение молекул газа по скоростям описывается функцией Максвелла;
- отражение молекул газа от поверхностей насоса происходит по диффузному закону;
- в вакуумную систему, к которой подсоединен насос, непрерывно поступает поток газа, то есть, насос работает в динамическом режиме;
- величина потока собственных газовыделений и натеканий в насосе мала, по сравнению, с внешней газовой нагрузкой;
- рассматривается откачка неконденсирующихся при температуре адсорбента газов;
- при откачке смеси газов адсорбция различных ее компонентов протекает независимо друг от друга;
- насос работает в установившемся тепловом режиме, температура охлаждаемых поверхностей не изменяется в процессе откачки. Конечным результатом теоретической модели было определение быстроты действия насоса S_H . При наличии защитных экранов на входе насоса:

$$\frac{1}{S_H} = \frac{1}{S} + \frac{1}{U_3}, \quad (I)$$

где U_3 - проводимость экранов; $S = \frac{1}{4} U_a F_o$ - быстрота действия сорбционной системы насоса; U_a - средняя арифметическая скорость молекул газа; F_o - площадь входной поверхности сорбционной системы; $\varphi = Q_a/Q_o$ - коэффициент захвата, представляющий отношение потока молекул, откачиваемого системой Q_a , к потоку молекул, поступающему на ее вход Q_o . Потоки Q_o и Q_a определялись по формулам:

$$Q_o = \int_{F_o} g_o(z_o, t) dF_o; \quad (2)$$

$$Q_a = \int_{F_s} \alpha(z_s, t) g(z_s, t) dF_s, \quad (3)$$

где $g_0(z_0, t)$ - плотность молекулярного потока в точке входной поверхности системы с координатой z_0 (рис. 1) в момент времени t ; $g(z_s, t)$ - плотность молекулярного потока, падающего в точку сорбирующей поверхности в этой точке; $\alpha(z_s, t)$ - коэффициент поглощения поверхности в этой точке; F_s - площадь сорбирующей поверхности системы. Для нахождения распределения плотности падающих молекулярных потоков в системе использовались интегральные уравнения баланса:

$$g(z, t) = \int_{F_0} g_0(z_0, t) K(z_0, z_s) dF_0 + \int_{F_s} [1 - \alpha(z_s, t)] g(z_s, t) K(z_s, z_s) dF_s \quad (4)$$

где $K(z_0, z_s), K(z_s, z_s)$ - угловые коэффициенты, характеризующие массообмен между участками поверхности системы, их конкретный вид зависит от ее геометрии.

Величина коэффициента поглощения $\alpha = g_a/g$, где g_a - плотность адсорбируемого потока газа, определялась из рассмотренной кинетики адсорбции газа слоем сферических зерен (рис. 2). Процесс описывался уравнением диффузии

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_e \left[\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{2}{x} \frac{\partial c}{\partial x} \right] \quad (5)$$

где $c(x, t)$ - концентрация газа в зернах адсорбента; x - координата, в направлении которой происходит диффузия; D_e - эффективный коэффициент диффузии. Граничные условия к уравнению (5) определялись из баланса молекулярных потоков на внешней поверхности слоя $g = g_a + g_{or}$, где g_{or} - плотность потока молекул, отраженных от поверхности, откуда

$$\frac{\partial c}{\partial x}(R, t) = H [c(t) - K_r c(R, t)] \quad (6)$$

где

$$H = \frac{U_0 R}{3 D_e \Gamma M_a} \cdot \frac{1}{K_s K_R}; \quad K_r = \sqrt{1 - \alpha(1 - \frac{T_n}{T})};$$

Γ - константа адсорбции Генри; M_a - масса адсорбента на единицу сорбирующей поверхности; U_3 - проводимость пористого экрана; $\frac{\partial c}{\partial x}(R, t)$ - градиент концентрации газа на внешней поверхности зерен; $c(t)$ - концентрация газа над рассматриваемым участком поверхности; $c(R, t)$ - концентрация газа на внешней поверхности зерен; K_3 - коэффициент формы зерен; K_R - коэффициент толщины слоя адсорбента; K_T - коэффициент, учитывающий разницу температуры газа T и поверхности T_n ; α - коэффициент accommodation. Для коэффициента поглощения была получена следующая зависимость

$$\alpha(B, F) = 1 - \frac{1}{\alpha(F)} \left\{ C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\mu_n^2 B}{B^2 - \mu_n^2} \left[\frac{c(F)}{K_T} - C_0 \right] \exp[\mu_n^2 (F - F_0)] dF \right\}, \quad (7)$$

где B и F - безразмерные комплексы, характеризующие, соответственно, сорбционные свойства адсорбента и продолжительность адсорбции и являющиеся аналогами критериев Био и Фурье,

$$B = \frac{U_3 R^2}{3De \Gamma M_a} \cdot \frac{K_T}{K_3 K_R}; \quad F = \frac{De}{R^2} t;$$

R - размер зерен адсорбента; C_0 - начальная концентрация газа в адсорбенте; μ_n - корни уравнения

$$tg \mu_n = \frac{\mu_n}{B - 1}. \quad (8)$$

Сравнение значений α , рассчитанных по данной модели с экспериментальными данными, показало возможность ее использования при расчете сорбционных систем.

Условия работы адсорбционного насоса часто характеризуются теплопритоком к адсорбенту в результате излучения от нагретых поверхностей вакуумной камеры или размещенных в ней объектов. В теоретическую модель был включен случай наличия на входе в сорбционную систему насоса теплового потока плотностью W_0 . Процесс распространения теплового излучения при диффузном рассеянии и малым, по сравнению с внешним теплопритоком, собственным излучением поверхностей системы описывался интегральными уравнениями, по внешнему виду аналогичными уравнениям молекулярного течения газа,

$$W(z) = \int_{F_0} W_0 K(z_0, z_s) dF + \int_{F_s} (1 - \gamma) K(z_s, z_s) W(z_s) dF_s, \quad (9)$$

где γ - степень черноты поверхности; $W(\zeta_s)$ - плотность теплового потока, падающего в окрестности точки поверхности с координатой ζ_s . Температура адсорбента при установившемся тепловом состоянии определялась из равенства тепловых потоков на внешней поверхности слоя адсорбента,

$$\gamma W = \lambda_a \frac{dT_a}{dx}(h), \quad (10)$$

где λ_a - коэффициент теплопроводности слоя адсорбента; $\frac{dT_a}{dx}(h)$ - градиент температуры на внешней поверхности слоя. Температура и сорбционные свойства адсорбента связывались зависимостями:

$$\Gamma = \Gamma_0 \exp\left(\frac{Q_a}{R_r T_a}\right); \quad (11)$$

$$D_e = D_0 \exp\left(-\frac{Q_g}{R_r T_a}\right), \quad (12)$$

где Q_a - энергия адсорбции; Q_g - энергия активации диффузии адсорбированного газа; R_r - универсальная газовая постоянная; Γ_0, D_0 - константы.

Таким образом, для определения быстроты действия адсорбционного насоса была получена система уравнений (1 + 4, 7, 9 + 12).

Исследование процессов теплообмена в насосе позволило, также, получить рекомендации по выбору соотношений размеров элементов сорбционных панелей. При наличии теплового излучения размеры панелей ограничиваются теплопроводностью слоя адсорбента. Исходя из условия обеспечения его равномерного охлаждения, получено следующее соотношение между размерами элементов сорбционных панелей

$$\frac{\eta}{\ell} = 8,5 \frac{\lambda_a}{\lambda_m} ct h(0,86 \frac{\zeta}{\ell}), \quad (13)$$

где η - относительная толщина слоя адсорбента; $\frac{\zeta}{\ell}$ - относительная толщина охлаждаемой поверхности (рис. 3); λ_m - коэффициент теплопроводности материала охлаждаемой поверхности. При отсутствии теплового излучения толщина слоя адсорбента ограничивается продолжительностью периода его захлаживания. Из рассмотрения процесса установления теплового равновесия, время, необходимое на охлаждение адсорбента

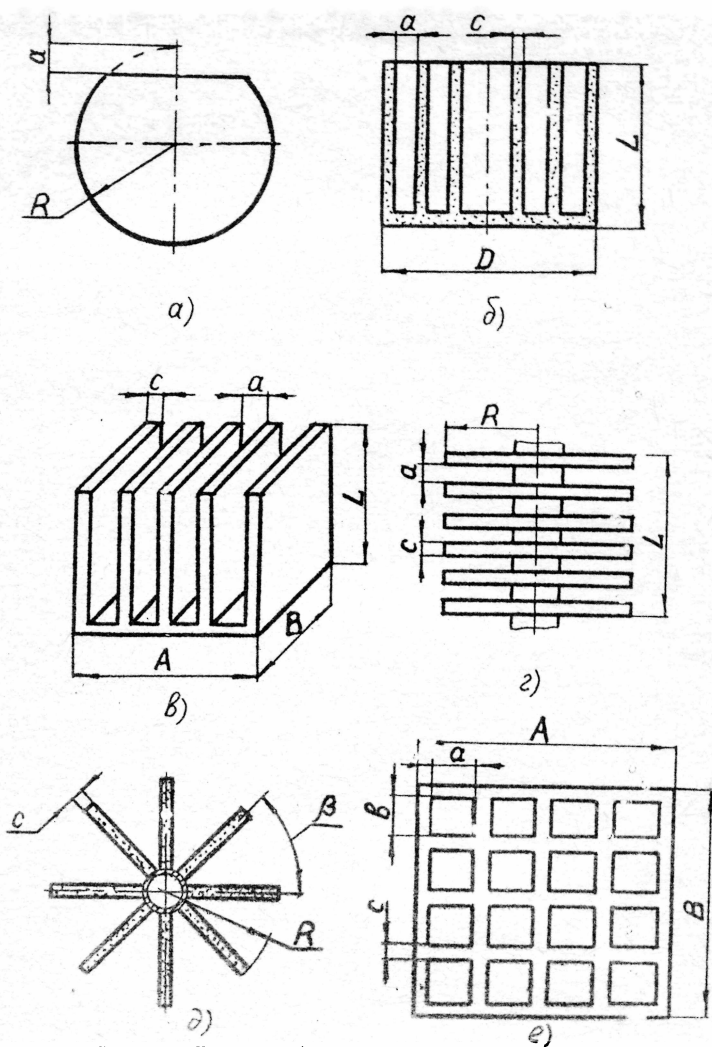


Рис. 4. Типы сорбционных систем:
 a - сферическая; $б$ - коаксиально-цилиндрическая; $в$ - с плоскими панелями; $г$ - дисковая; $д$ - лепестковая; $е$ - коробчатая

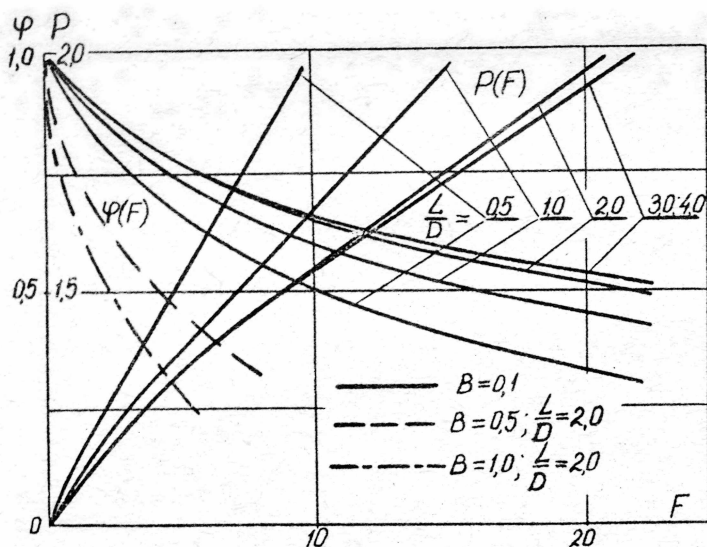


Рис. 5. Изменение коэффициента захвата $\varphi(F)$ и давления $P(F)$ при откачке цилиндрической системой постоянного потока газа

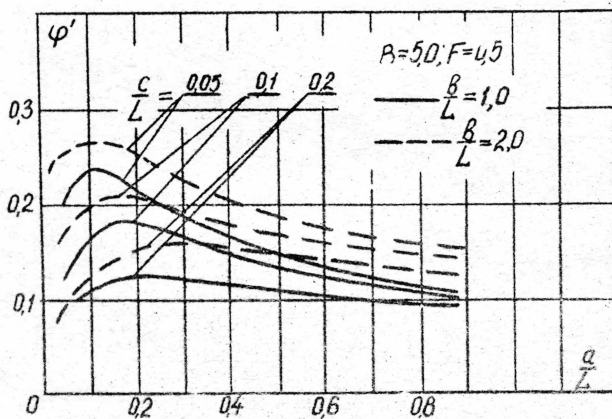


Рис. 6. Определение оптимальных геометрических параметров сорбционной системы с плоскими панелями

$$t_{ox} = 2 \frac{h}{a_c}, \quad (14)$$

где a_c - коэффициент температуропроводности слоя адсорбента.

Исследование влияния толщины слоя адсорбента на его откачную способность показало, что коэффициент поглощения α возрастает при увеличении h лишь до определенных пределов, зависящих от диффузионных и адсорбционных свойств слоя. Предельная толщина слоя определяется по зависимости

$$h = 3 \sqrt{\frac{D_c}{G}}, \quad (15)$$

где D_c - коэффициент диффузии молекул газа в слое адсорбента;

$$G = \frac{3 U_a}{4(R+12B)}; \quad \bar{B} = \frac{U_a R^2}{12 D_c \Gamma \rho_a K_s};$$

ρ_a - плотность слоя адсорбента. При выборе толщины слоя необходимо учитывать как температурные, так и диффузионные ограничения.

В главе 3 ("Исследование откачных характеристик сорбционных систем") приводятся результаты расчетов сорбционных систем наиболее распространенных типов, определены их оптимальные параметры, проведено сравнение, предложена методика расчета. Расчеты по разработанной теоретической модели проводились численными методами на ЭВМ. Зависимости коэффициента захвата $\varphi(B, F)$ определялись при различных геометрических параметрах систем (рис. 4), алгоритм расчета был общим для всех рассмотренных типов, кроме сферической системы, для которой была получена аналитическая зависимость.

Кривые $\varphi(F)$ и $P(F) = \frac{1}{\varphi(F)}$ для цилиндрической системы показаны на рис. 5. С течением времени устанавливается линейный рост давления на входе в систему $P(F)$ в случае откачки постоянного потока газа.

При определении оптимальных параметров сравнивались системы с различным числом панелей при неизменных габаритных размерах. Определение оптимальных параметров сорбционной системы с плоскими панелями показано на рис. 6. Оптимальными считаются параметры, при которых величина $\psi = \varphi(1 + \frac{C}{\alpha})$, где α - расстояние между панелями; C - толщина панелей, пропорциональная скорости действия системы, имеет максимальную вели-

чину. При ухудшении сорбционных свойств (увеличение комплекса B) и уменьшении относительной толщины панелей $\frac{a}{L}$ оптимальные значения расстояний между панелями $\frac{a}{L}$ смещаются в область меньших значений. Оптимальные параметры исследованных сорбционных систем представлены в табл. I. Там же, приводятся величины относительных объемов систем

$$V = V \left(\frac{U_a}{4S} \right)^{3/2}, \quad (16)$$

рассчитанные для значений комплексов $F=0,5$ и $B=10$ и 100 , при относительной толщине панелей $\frac{a}{L}=0,05$ и оптимальных параметрах, соответствующих данным значениям B, F и $\frac{a}{L}$.

Таблица I

Характеристики сорбционных систем

Типы систем	Оптимальные параметры	Относительные объемы	
		$B=10$	$B=100$
Сферическая	$\frac{a}{R} = 0,2 + 0,4$	29,4	683,0
Цилиндрическая	$\frac{a}{d} = 2,0 + 3,0$	13,8	253,0
Коаксиально-цилиндрическая	$\frac{a}{L} = 0,05 + 0,3$	5,7	88,5
С плоскими панелями	$\frac{a}{L} = 0,05 + 0,2$	2,3	53,6
Коробчатая	$\frac{b}{L} = \frac{a}{L} = 0,5 + 1,0$	5,2	105,0
Лепестковая	$\beta = 10^\circ + 20^\circ$	2,0	46,3
Дисковая	$\frac{a}{R_2} = 0,2 + 0,3$	2,9	68,4

Наименьшими габаритными размерами обладают лепестковая система и сорбционная система с плоскими панелями.

В главе 4 ("экспериментальные исследования") приводится описание экспериментальной установки, методики проведения исследований и калибровки измерительных приборов, оценивается погрешность измерений, проводится сравнение полученных результатов с результатами теоретической модели.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 7. Сорбционные панели представляли собой медные пластины с нанесенным на них слоем адсорбента. Для крепления порошка

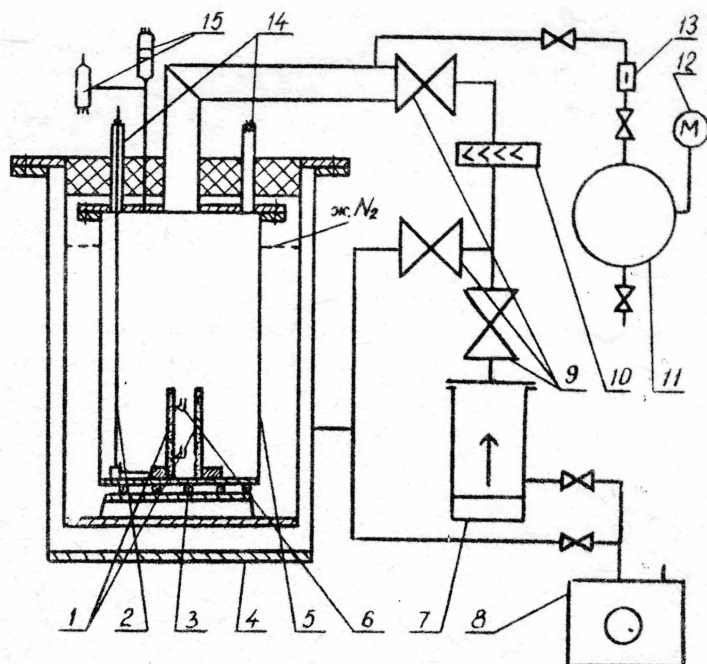


Рис. 7. Схема экспериментальной установки:

I - сорбционные панели; 2 - механический ввод перемещения сорбционных панелей; 3 - электрический нагреватель; 4 - криостат; 5 - камера; 6 - термопары; 7 - диффузионный насос; 8 - механический насос; 9 - затворы; 10 - охлаждаемая ловушка; II - резервуар с напускаемым газом; 12 - вакуумметр; 13 - калиброванная течь; 14 - тепловые развязки; 15 - манометрические преобразователи

кристаллического адсорбента в качестве связующего материала применялся силикат натрия, слой адсорбента, с целью повышения механической прочности армировался стекловолокном. Исследования проводились на цеолитах NaX и $CaEH-4B$. Охлаждение панелей осуществлялось жидким азотом. Для их перемещения, с целью изменения геометрических параметров системы, использовался механический вакуумный ввод, что позволило избежать разгерметизации камеры в ходе проведения опытов. Снимались экспериментальные кривые изменения давления в камере от продолжительности откачки постоянного потока газа и расстояния между панелями. Теоретические зависимости, при их сравнении с экспериментальными данными, рассчитывались по свойствам адсорбентов, полученным из опытов. Наблюдалось совпадение результатов в пределах погрешности эксперимента, определявшейся погрешностью измерения давления.

ВЫВОДЫ

1. Разработана теоретическая модель откачки газа адсорбционным насосом с сорбирующими панелями различной формы, рассматривающая взаимосвязанные процессы молекулярного течения газа, адсорбции слоем адсорбента, теплообмена излучением. На ее основе разработаны алгоритмы и программы расчета сорбционных систем, образованных панелями плоской, цилиндрической и сферической форм, позволяющие исследовать их откачные характеристики в зависимости от геометрических параметров, свойств слоя адсорбента, тепловой нагрузки и продолжительности работы.

2. Установлено существование оптимальных геометрических параметров сорбционных систем, образованных панелями с адсорбентом, при которых быстрота действия имеет максимальное значение при неизменных габаритных размерах. Их использование позволяет на $30 + 50\%$ повысить быстроту действия насоса. Оптимальные параметры определялись с учетом неравномерности распределения молекулярных потоков в системе и различием условий работы адсорбента. Получены следующие оптимальные параметры сорбционных систем:

в сферической системе отношение координаты в угловой поверхности к радиусу $\frac{a}{R} = 0,2 + 0,4$;
в цилиндрической системе отношение

длины цилиндра к диаметру $\frac{L}{D} = 2,0 + 3,0;$

в коаксиально-цилиндрической системе отношение расстояния между панелями к их высоте

$$\frac{a}{L} = 0,05 + 0,3;$$

в системе с плоскими панелями отношение расстояния между панелями к их высоте

$$\frac{a}{L} = 0,05 + 0,2;$$

в лепестковой системе

угол между панелями

$$\beta = 10^\circ + 20^\circ;$$

в дисковой системе расстояние между панелями, отнесенное к их внешнему радиусу,

$$\frac{a}{R_2} = 0,2 + 0,3.$$

в системе коробчатой формы отношение длины и ширины ячейки к высоте панелей

$$\frac{a}{L} = \frac{b}{L} = 0,5 + 1,0;$$

При снижении сорбционных свойств адсорбента и уменьшении относительной толщины панелей оптимальными становятся более плотные структуры.

3. Сравнение сорбционных систем по их габаритным размерам, необходимым для обеспечения требуемой скорости действия, показало, что преимуществом обладают системы лепесткового типа и с плоскими панелями. По сравнению с цилиндрической системой, они позволяют снизить габаритные размеры насоса, соответственно, в 4 и 3 раза. Их применение наиболее целесообразно для насосов с большой скоростью действия.

4. Анализ процессов теплообмена в сорбционных системах показал, что размеры панелей ограничиваются: при наличии теплопритока излучением - теплопроводностью слоя адсорбента, при его отсутствии - продолжительностью периода охлаждения адсорбента. Исходя из условия обеспечения равномерного охлаждения адсорбента, получена зависимость по выбору соотношений размеров элементов панелей. Отношение толщины слоя адсорбента к толщине охлаждаемой поверхности к ее длине составляет, соответственно, $0,01 + 0,02$ и $0,025 + 0,1$.

5. Исследование откачки газа слоем адсорбента не выявило существования предельного значения его толщины, превращение которого не приводит к росту откачных характеристик панелей. Наличие предельной толщины объясняется диффузионным сопротивлением слоя. Исходя из диффузионных и адсорбционных свойств,

получены рекомендации по выбору параметров слоя. Для гранулированных адсорбентов (размер зерен $1 + 3$ мм) предельная толщина составляет $10 + 20$ мм, для порошковых адсорбентов (размер зерен $1 + 5$ мкм) предельная толщина равняется $3 + 5$ мм.

6. Предложена методика расчета сорбционной системы насоса с панелями плоской, цилиндрической и сферической форм на заданную быстроту действия и продолжительность откачки.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

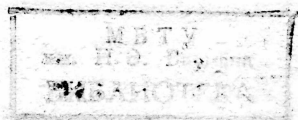
1. Фролов Е.С., Никулин Н.К., Ромочкин Ю.Г. Исследование коэффициента захвата криосорбционного вакуумного насоса с цилиндрическими кассетами. - Тезисы докл. Всесоюзного симпозиума "Состояние и перспективы разработки и производства новых видов вакуумного оборудования" / Казань, 1981/, ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, М., 1981, вып. 2.

2. Фролов Е.С., Никулин Н.К., Ромочкин Ю.Г. Определение оптимальных геометрических параметров адсорбционного насоса с плоскими панелями. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика. Харьков, ХФТИ, 1981, вып. I/15/, с. 13-15.

3. Фролов Е.С., Никулин Н.К., Ромочкин Ю.Г. Определение быстроты действия цилиндрического адсорбционного насоса. - Изв. вузов. Машиностроение, 1982, №3, с. 66-71.

4. Фролов Е.С., Никулин Н.К., Ромочкин Ю.Г. Влияние теплового потока на эффективность работы высоковакуумного адсорбционного насоса. - Изв. вузов. Машиностроение, 1982, №5, с. 76-81.

5. Исследование адсорбционного вакуумного насоса с плоскими панелями /Е.С. Фролов, В.В. Серпинский, Н.К. Никулин, Ю.Г. Ромочкин. - Изв. вузов. Машиностроение, 1982, №11, с. 80-83.



Подписано к печ. 27.12.82 г., объем 1 п.л., А-91048
Тир. 100 экз. Зак. 1624
Типография ИМБТУ им. П.Э. Баумана

В.С. Фролов