

Геттерно-ионный насос орбитронного типа для откачки аналитических приборов. И в а н о в А. П., М е л ь - н и ч у к Е. Я., С о к о л о в Б. Н., Ф у к с м а н Б. Е., Х о л о д о в А. И. — В кн.: Научное приборостроение. Л., «Наука», 1983, с. 66—71.

Рассмотрены вопросы применимости некоторых типов поглощающих насосов для откачки аналитических приборов. Показано, что определенными преимуществами среди поглощающих насосов обладают геттерно-ионные насосы орбитронного типа. Представлены основные технические характеристики насосов орбитронного типа, разработанных у нас в стране и за рубежом. Описана конструкция нового насоса Орбитрон. Отличительной особенностью насоса является использование спиральных катодов и втулки-испарителя с параболической формой поверхности. Приведены основные технические характеристики разработанного насоса. Низкое предельное остаточное давление, обеспечиваемое насосом ( $2 \cdot 10^{-7}$  Па), и относительно большая быстрота действия (0.2 м<sup>3</sup>/с) позволяют успешно применять этот насос для откачки аналитических приборов. Лит. — 13 назв., ил. — 3, табл. — 2.

*А. П. Иванов, Е. Я. Мельничук, Б. Н. Соколов,  
Б. Е. Фуксман, А. И. Холодов*

## **ГЕТТЕРНО-ИОННЫЙ НАСОС ОРБИТРОННОГО ТИПА ДЛЯ ОТКАЧКИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

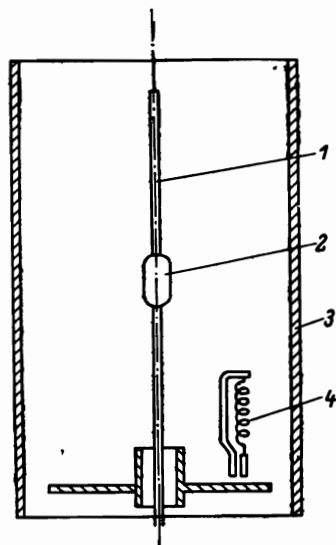
Сверхвысоковакуумный насос для вакуумирования современных аналитических приборов должен удовлетворять следующим требованиям:

- предельное остаточное давление не более  $10^{-8}$  Па;
- равномерная характеристика «быстрота действия—давление»;
- обеспечение возможности круглосуточного поддержания высокого вакуума в выключенном приборе;
- малые габариты, вес;
- отсутствие магнитов;
- низкая стоимость.

В последнее время все большее распространение для откачки аналитических приборов находят поглощающие насосы, принцип действия которых основан на сорбции газов геттерными пленками. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики некоторых типов поглощающих насосов, выпускаемых отечественной промышленностью. Как следует из данных табл. 1, одним

Рис. 1. Схема насоса орбитронного типа.

1 — анод; 2 — втулка-испаритель; 3 — корпус; 4 — катод.



из насосов, который в большей степени удовлетворяет поставленным требованиям, является геттерно-ионный насос орбитронного типа.

Принцип действия насосов орбитронного типа основан на поглощении молекул газа пленкой титана, напыляемой на охлаждаемую поверхность. На рис. 1 показана схема насоса. Образование титановой пленки на поверхности корпуса 3 насоса происходит при разогреве до температуры порядка 1800 К титановой втулки-испарителя 2, расположенной в центре насоса на анодном стержне 1, находящемся под высоким потенциалом. Разогрев втулки осуществляется с помощью электронов, эмиттированных катодом 4 и ускоренных в приложенном электрическом поле.

Цилиндрически-симметрическое электростатическое поле между анодом и корпусом приводит к тому, что движение электронов в насосе происходит по эллиптическим орбитам. В случае идеального поля электроны могли бы вращаться по своим орбитам как угодно долго, но за счет наличия втулки-испарителя идеальная форма поля искажается, в результате чего электроны сходят со своих орбит и захватываются втулкой. Другой причиной, порождающей уход электронов с орбиты, является потеря орбитального момента движения электронов в процессе ионизации молекул остаточного газа в межэлектродном пространстве. Откачка инертных газов в насосе Орбитрон осуществляется за счет предварительной ионизации молекул газа с последующим «замуровыванием» их на стенке насоса при напылении титана.

Скорость откачки  $S$  (в л/с) для инертного газа определяется выражением

$$S = N_e \bar{\sigma} l P_s / 1000, \quad (1)$$

где  $N_e$  — число электронов, эмиттируемых катодом в 1 с;  $\bar{\sigma}$  — среднее эффективное сечение ионизации, см<sup>2</sup>;  $l$  — средняя длина свободного пробега электронов, см;  $P_s$  — вероятность связывания ионов, попавших на стенку.

При увеличении  $N_e l$  увеличивается скорость откачки при постоянной вероятности связывания  $P_s$ . Верхний предел скорости откачки ограничивается

Таблица 1

Сравнительные характеристики магниторазрядных, геттерно-ионных и орбитронных насосов

Характеристика	Магниторазрядный насос		ГИН	Орбитронный насос
	диодный	триодный		
Предельное остаточное давление, Па	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
Удельная потребляемая мощность, Вт/(м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup> )	5·10 <sup>2</sup>	5·10 <sup>2</sup>	2·10 <sup>3</sup>	2·10 <sup>2</sup>
Удельные габариты, м <sup>3</sup> /(м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup> )	0,2	0,4	0,1	0,2
Удельная масса, кг/(м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup> )	4·10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	1·10 <sup>2</sup>	1·10 <sup>2</sup>
Быстрота действия по аргону (в % от быстрой действия по азоту)	3	15	6	2
Тип охлаждения	Водяное	Жидкий азот	Водяное	Водяное, жидкий азот
Наличие магнита	Есть	Есть	Нет	Нет
Удельная стоимость, тыс. руб/(м <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup> )	15	20	3	3

максимальной величиной «циркулирующего» заряда, который может сохраняться вокруг анода, не искажая картины поля.

Величина связанного заряда  $Q_c$  на цилиндрическом конденсаторе определяется выражением

$$Q_c = 0.24LU \cdot 10^{-12} / \lg(r_2/r_1), \quad (2)$$

где  $Q_c$  — связанный заряд, Кл;  $U$  — напряжение на конденсаторе, В;  $r_1$ ,  $r_2$  — радиусы внутреннего и внешнего цилиндров конденсатора соответственно, см;  $L$  — длина цилиндров конденсаторов, см.

Когда вращающиеся электроны имеют суммарный заряд  $Q_s$ , сравнимый с  $Q_c$ , длина свободного пробега электронов падает вследствие разрушения электростатического поля. Максимально допустимый заряд вращающихся электронов без заметного уменьшения длины свободного пробега электронов составляет  $0.5 Q_c$ .

Таким образом, максимальная скорость откачки  $S_{\max}$  (в л/с) инертных газов равна

$$S_{\max} = (0.5Q_c/e) (vP_s/1000), \quad (3)$$

где  $e$  — заряд электрона, Кл;  $v$  — скорость движения вращающихся электронов, усредненная во времени, см/с.

Вероятность прилипания  $P_s$  для ионов, попадающих на стенку, почти постоянна и равна приблизительно 0.6 для аргона и 0.8 для гелия при отношении числа связанных атомов аргона и гелия к числу распыленных атомов титана, равном 0.09 и 0.5 соответственно.

Титановая пленка образует практически нелетучие при комнатной температуре соединения или твердые растворы почти со всеми газами, за исключением инертных и углеродородов. Если вероятность прилипания близка к 1, то скорость откачки ограничивается пропускной способностью входного патрубка насоса при условии, что скорость сублимации достаточна для поглощения всех поступающих в насос молекул.

Таблица 2

Технические характеристики насосов орбитронного типа

Страна, год разработки	Предельное остаточное давление, Па	Быстрота действия по азоту, м <sup>3</sup> /с	Давление запуска, Па	Габаритные размеры, мм		Тип охлаждения	Параметры электропитания		Температура прогрева, К	Литература
				диаметр	длина		напряжение, кВ	ток, мА		
США, 1964	$5 \cdot 10^{-9}$	6	$10^{-2}$	300	300	Водяное	20	50	450	[1]
США, 1965	$5 \cdot 10^{-9}$	0.5	$10^{-1}$	100	300	Воздушное	5	25	450	[2]
Англия, 1966	—	0.2	—	100	—	—	4	10	—	[3]
Франция, 1966	$2 \cdot 10^{-9}$	1.1	$10^{-2}$	160	300	Водяное	—	—	500	[4]
США, 1967	$3 \cdot 10^{-9}$	1.7	—	150	380	»	4	—	—	[5]
СССР, 1967	$5 \cdot 10^{-7}$	0.12	$10^{-1}$	160	—	»	7	50	550	[6]
СССР, 1968	$10^{-11}$	0.5	$10^{-2}$	160	870	Жидкий азот	4.5	50	—	[7]
Англия, 1968	—	0.4	$10^{-1}$	150	482	Водяное	5	35	—	[8]
США, 1968	$5 \cdot 10^{-9}$	0.015	—	50	240	Воздушное	3	20	750	[9]
СССР, 1970	$1 \cdot 10^{-7}$	0.3	$10^{-2}$	160	380	Водяное	6	50	—	[10]
Англия, 1971	$10^{-8}$	0.4	$10^{-1}$	100	—	»	6	15	750	[11]

В табл. 2 приведены основные технические характеристики насосов орбитронного типа, разработанных у нас в стране и за рубежом за последние 15 лет.

В технической литературе уже была показана целесообразность использования насосов орбитронного типа для откачки масс-спектрометрических приборов [12]. В 1980 г. в СКБ аналитического приборостроения НТО АН СССР специально для вакуумирования масс-спектрометрических приборов был разработан агрегат насосный орбитронный АНО-0.2-1, в состав которого входит сверхвысоковакуумный малогабаритный насос Орбитрон. Внешний вид раз-

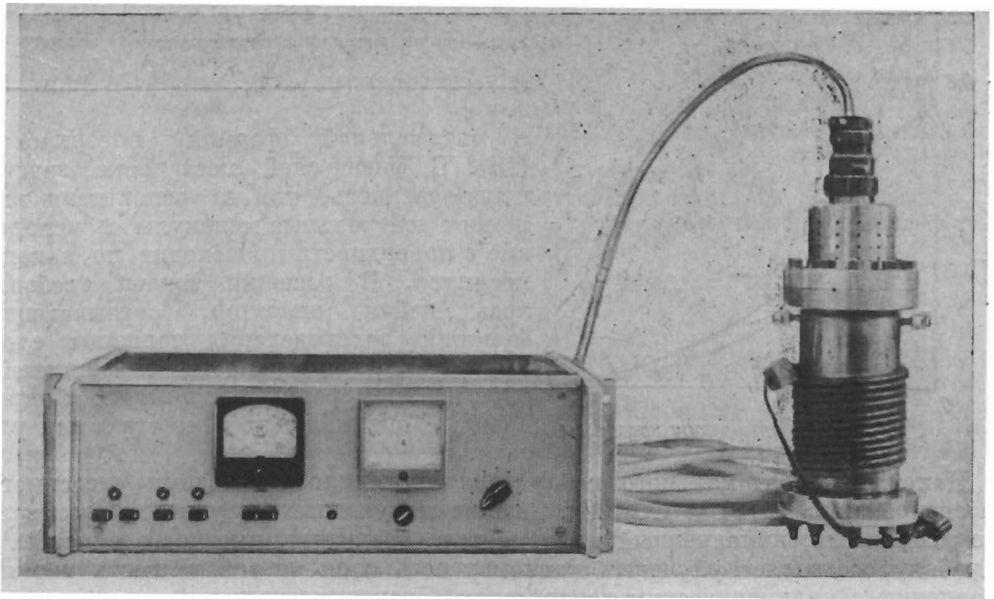


Рис. 2. Насос Орбитрон с блоком питания.

работанного агрегата представлен на рис. 2. Насос выполнен в виде цилиндрического корпуса с внутренним диаметром 80 мм. С одной стороны на корпусе установлен блок электродов, а другая сторона предназначена для подсоединения насоса к откачиваемому объему. В состав блока электродов входят стержневой анод с втулкой-испарителем из иодидного титана, две пары катодов, экраны и высоковольтные токоотводы. На корпусе расположены водяная рубашка для охлаждения насоса проточной водой и гибкие нагреватели для обезгаживания насоса.

Разработанный насос имеет ряд конструктивных особенностей, выгодно отличающих его от существующих аналогов. Во-первых, в насосе использованы спиральные катоды, имеющие более высокую по сравнению с прямыми катодами долговечность и позволяющие производить запуск насоса при давлении  $\sim 10^{-2}$  Па. Второй особенностью является применение в насосе титанового испарителя параболической формы.

При испарении из точечного испарителя, каким можно считать титановую втулку насоса Орбитрон, образующийся слой геттерного материала на поверхности корпуса насоса является неравномерным: от центра к периферии его толщина уменьшается. Негативным результатом образования переменного по толщине слоя геттера является зависимость быстроты действия насоса от давления. Обусловлено это тем, что периферийная часть геттерного слоя, имея недостаточную сорбционную емкость, в области высоких давлений быстрее насыщается молекулами откачиваемого газа, в результате чего быстрота действия насоса падает. Увеличением скорости испарения титана частично удастся выравнять быстроту действия в области высоких давлений, однако такое решение имеет свои недостатки и ограничения. Увеличение скорости испарения предполагает увеличение тока эмиссии с катодов, при этом, как отмечалось выше, ток можно увеличивать лишь до определенного предела, ограниченного максимальной величиной «циркулирующего заряда», который может сохраняться вокруг анода, не искажая картины поля. В противном случае происходит разрушение электростатического поля, длина свободного пробега электронов падает и вероятность ионной откачки уменьшается. В области низких давлений (при больших скоростях испарения) наблюдается нерациональное расходование геттерного материала, образование шелушащихся, отстающих от поверхности слоев титана.

Для создания более равномерного слоя геттерного материала на поверхности корпуса насоса была исследована возможность использовать испаритель

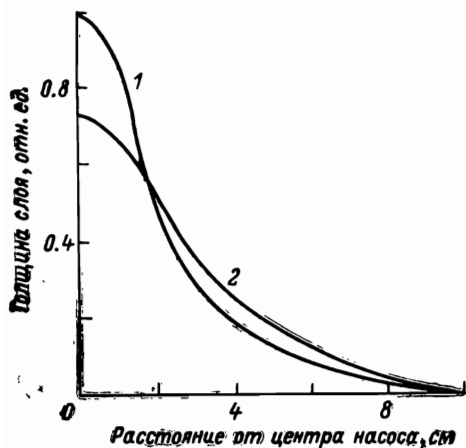


Рис. 3. Распределение геттерного материала. 1, 2 — цилиндрический и параболический испарители.

с оптимальной формой поверхности [13]. В физической постановке задачи предполагалось, что из испарителя вылетают нейтральные молекулы и испарение с поверхности происходит по закону косинуса. В решении задачи требовалось найти оператор, связывающий функцию распределения толщины слоя геттера на поверхности с функцией, описывающей форму испарителя, и определить оптимальную форму испарителя.

Нахождение оптимального испарителя проводилось методами численного интегрирования на ЭВМ ЕС-1022. Анализ полученных результатов показал, что испаритель, выполненный в форме тела вращения, имеющего в профиле параболу, позволяет улучшить равномерность слоя титана в шесть раз по сравнению с цилиндрическим испарителем. Экспериментальная проверка подтвердила возможность создания более равномерного слоя с применением новой формы испарителя. На рис. 3 представлены зависимости, характеризующие влияние формы испарителя (цилиндрического и параболического) на толщину слоя титана в насосе.

Третьей особенностью разработанного насоса является высокое качество вакуумных поверхностей, обработанных способами поверхностного пластического деформирования, что обеспечивает низкое газовыделение, хорошую адгезию титана и отсутствие участков, не запыленных геттерным материалом.

Ниже представлены основные технические характеристики агрегата АНО-0.2-1:

Предельное остаточное давление, Па . . . . .	2·10 <sup>-7</sup>
Быстрота действия по азоту в диапазоне давлений 10 <sup>-4</sup> —10 <sup>-5</sup> Па, м <sup>3</sup> /с . . . . .	0.2
Давление запуска, Па . . . . .	10 <sup>-2</sup>
Температура прогрева, К . . . . .	550
Охлаждение . . . . .	Водяное
Диаметр подсоединительного фланца, Ду, мм . . . . .	80
Расстояние от насоса до блока питания, м . . . . .	5
Рабочее положение насоса . . . . .	Любое
Габаритные размеры насоса (диаметр×высота), мм . . . . .	130×345
Габаритные размеры блока питания (ширина×высота×глубина), мм . . . . .	490×190×395
Масса, кг:	
насоса . . . . .	7.5
блока питания . . . . .	16
Напряжение питающей сети, В . . . . .	220 ±10%
Частота питающей сети, Гц . . . . .	50

Проведены лабораторные испытания опытного образца насоса на изотопном масс-спектрометре МИ1321, которые показали возможность замены двух магниторазрядных насосов типа НМД-0.025 одним насосом Орбитрон без изменения технических характеристик масс-спектрометра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Maliakal Z. — J. Vac. Sci. Technol., 1964, v. 1, N 2, p. 54.
2. Дуглас Г., Забрицкий Г., Херб Г. — ПНИ, 1965, т. 36, № 1, с. 1.
3. Holland L., Laurenson L., Fulker M. — Vacuum, 1966, v. 16, N 12, p. 663.
4. Sibley C. B. — Le Vide, 1966, v. 24, N 122, p. 287.
5. Bills G. — Vac. Sci. Technol., 1967, v. 4, p. 149.

6. Данилин Б. С., Минайчев С. И., Мирошкин В. Е. — Обмен опытом в электрон. пром.-сти, 1967, вып. 4, с. 39.
7. Назаров Н. И. — ПТЭ, 1970, № 2, с. 11.
8. Herb R. G. Пат. Великобритании № 887251, 1968.
9. Naik L., Herb R. G. — J. Vac. Sci. Technol., 1968, v. 5, N 2, p. 42.
10. Минайчев С. И., Мирошкин В. Е. — Электрон. техн. Сер. Микроэлектроника, 1970, вып. 3 (24), с. 143.
11. Neik P. K., Verma S. L. — Vacuum, 1971, v. 21, N 12, p. 597.
12. Зыман З. З. — II Всесоюз. конф. по масс-спектрометрии. Тез. докл. 1974, с. 400.
13. Иванов А. П., Мальков А. С., Холодов А. И. Геттерно-ионный насос орбитронного типа. Авт. свид. № 805447. — Бюл. изобр., 1981, № 6, с. 273.