

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A 747

P9-87-874

В.К.Антропов, А.В.Мажулин, Ю.С.Дерендяев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ИНВЕРСНО-МАГНЕТРОННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВАКУУМНОГО НАСОСА

Направлено в Оргкомитет 9 конференции
"Высокий вакуум, граничные поверхности/тонкие пленки"
(Дрезден, февраль 1988 г.)

1987

Промышленные магниторазрядные насосы имеют электродную систему, представляющую собой многократное повторение ячеек Пеннинга, в которых протекает магнитоизолированный разряд^{1/}. Подобный магнитоизолированный разряд реализуется также в электродных системах инверсно-магнетронного типа, нашедших применение в конструкциях вакуумных датчиков.

Авторами предложена конструкция вакуумного насоса с электродной системой инверсно-магнетронного типа. Внешний вид насоса показан на рис.1, устройство — на рис.2. Сварной корпус насоса представляет собой герметичный объем из нержавеющей стали, у которого имеется присоединительный фланец и патрубок с фланцем для подключения высоковольтного токоввода. Электродный блок насоса представляет собой конструкцию из двух катодов, стержневых анодов, торцевых пластин и двух изоляторов. Электродный блок показан на рис.3. Катоды изготавливались из титана марки ВТ-1 и имеют вид пластин с размером 300 x 120 x 1,5 мм. В этих пластинах были просверлены отверстия диаметром $d = 5$ мм, через которые пропускались стержневые аноды, изготовленные из нихромовой проволоки диаметром $d = 1$ мм. Концы стержневых анодов приварены к двум торцевым пластинам. Эти пластины изолированы от катодов керамическими изоляторами, имеющими экраны от запыления их титаном. Электродный блок в собранном виде вставляется между стенками корпуса насоса. Высокое выпрямленное напряжение подается на катоды электродных блоков через высоковольтный вакуумный токоввод. Магнитная система насоса состоит из оксидно-бариевых магнитов, объединенных в блоки. Силовые линии магнитного поля направлены вдоль оси анодов перпендикулярно к поверхности катодов. Напряженность магнитного поля в зазорах между магнитами не менее $80 \cdot 10^3$ А/м.

В основе откачивающего действия этого насоса лежит явление возникновения в межэлектродном пространстве магнитоизолированного разряда. Поддержание разряда происходит за счет ионизации молекул газа электронами, ускоренными в электрическом поле. Необходимая для ионизации газа энергия набирается электронами при осцилляции между катодами насоса, которая происходит вдоль силовых линий внешнего магнитного поля.

Вероятность ионизации молекулы газа электроном зависит от энергии, которой обладает электрон. Характер этой зависимости представлен на рис.4^{1/2}. Видно, что вероятность ионизации газов максимальна при энергии электрона в интервале $E = 100 \div 1000$ эВ. При данной конструкции насоса разность потенциалов между катодом и анодом составляет

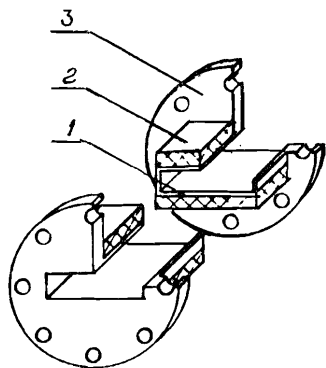


Рис.1. Внешний вид насоса. 1 – корпус, 2 – магнит, 3 – фланец.

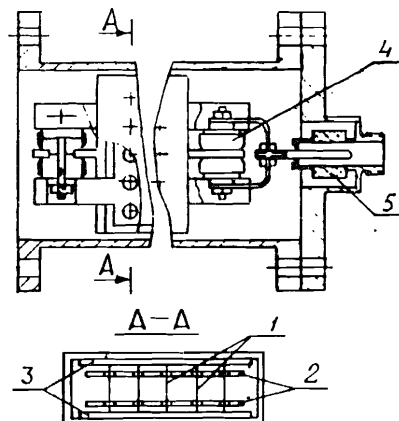


Рис.2. Устройство насоса. 1 – стержневые аноды, 2 – катоды, 3 – торцевые пластины, 4 – изолятор, 5 – токоввод.

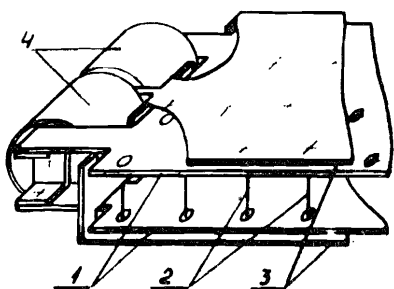


Рис.3. Электродный блок. 1 – титановые катоды, 2 – стержневые аноды, 3 – торцевые пластины, 4 – изоляторы.

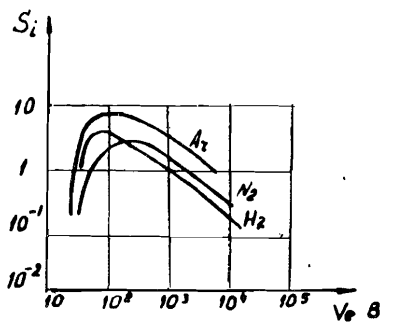


Рис.4. Зависимость эффективности ионизации различных газов от энергии электронов.

$U = 4$ кВ. Из этого следует, что область наиболее эффективной ионизации откачиваемого газа лежит между эквипотенциальными поверхностями, соответствующими 3-процентному и 25-процентному падению потенциала.

Авторами были произведены расчеты электрических полей для трех вариантов электродных блоков, различающихся частотой расположения анодных стержней ($\ell_A/\ell_k = 2$; $\ell_A/\ell_k = 1$; $\ell_A/\ell_k = 0,5$). Расчеты потенциала производились по программе ELLIPT^{3/}. Полученные данные

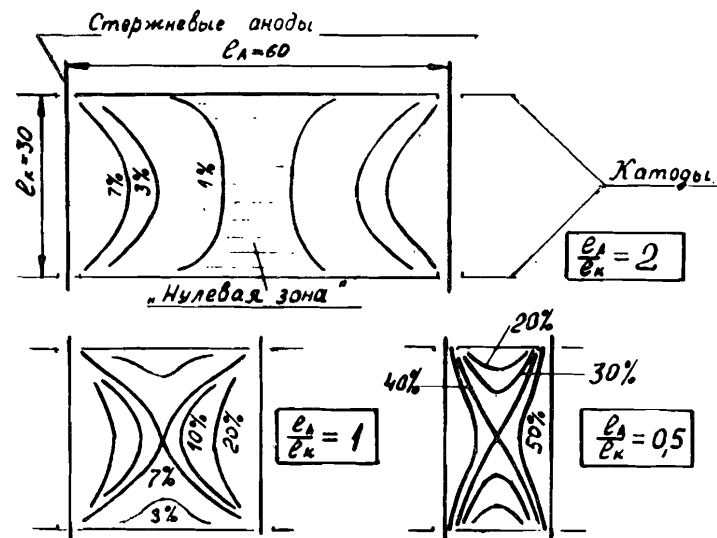


Рис.5. Распределение потенциалов в различных электродных системах.

представлены на рис.5. Из расчетов видно, что область эффективной ионизации расположена в основном в центральной части электродной системы между катодами. Ближе к анодам эта область сужается и приближается к поверхности катодов. Образовавшиеся ионы откачиваемого газа движутся к катоду и приобретают в результате энергию, соответствующую разности потенциалов между точкой ионизации и поверхностью катода. При соударении с катодом высокоэнергетичные ионы распыляют материал катода, выбивая с его поверхности молекулы титана. Менее энергетичные ионы распыляют катоды слабее, и при некоторых энергиях распыление уже не происходит, а образуется химическое соединение газа с напыленной титановой пленкой или осуществляется внедрение ионов в пленку с последующим замуровыванием их новыми слоями. На рис. 5 видно, что в относительно редкой электродной системе ($\ell_A/\ell_k = 2$) появляется разделение участков поверхности катода на распыляемые и нераспыляемые. Так, например, в центральной части такой системы между анодами имеется условно названная "нулевая зона", характеризующаяся слабыми электрическими полями, в которой развитие разряда является уже невозможным по энергетическим условиям.

Испытания насоса проводились на вакуумном стенде, изображенном на рис.6. Опытный насос присоединялся к вакуумной камере стенда, объем которой $V = 5$ л. Предварительная откачка насоса и камеры осуществлялась механическим форвакуумным насосом. Насос НОРД-100 служил для откачки при прогреве системы. Действие опытного насоса сравнивалось с действием насоса НОРД-250, который при-

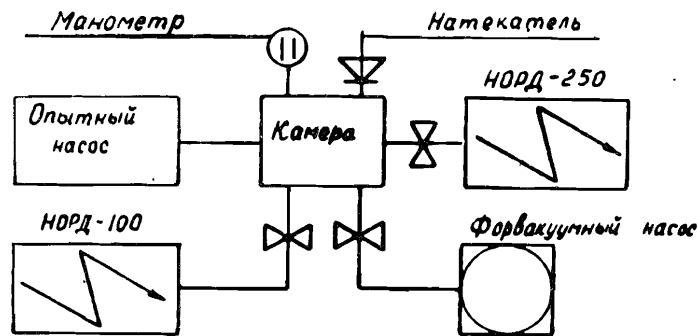


Рис.6. Стенд для испытаний насоса.

соединялся к камере через вентиль ДУ-100. Отметим, что насос НОРД-250 содержит в себе 6 стандартных электродных блоков, каждый из которых равен по площади электродному блоку опытного насоса. Измерение давления осуществлялось датчиком ММ-14. С целью напуска газа в камеру был установлен натекаль.

Перед началом испытаний был проведен 8-часовой прогрев опытного насоса и камеры стенда при температуре $t = 300^\circ\text{C}$. Затем насос был запущен, и через 3 часа откачки давление в камере стало равно $P = 5 \cdot 10^{-8}$ Тор. Затем с помощью натекаль в камеру был напущен атмосферный воздух до давления $P = 1 \cdot 10^{-3}$ Тор и произведен повторный запуск опытного насоса.

В момент запуска был отмечен большой ток разряда ($I = 100$ мА). Затем ток уменьшился, и после 5 суток работы насоса давление в камере уменьшилось до $P = 2 \cdot 10^{-8}$ Тор, а еще через трое суток — до $P = 6 \cdot 10^{-9}$ Тор.

После этого опытный насос был выключен, и производилась откачка камеры одним насосом НОРД-250 в течение трех суток. В итоге в камере было достигнуто давление $P = 7 \cdot 10^{-9}$ Тор.

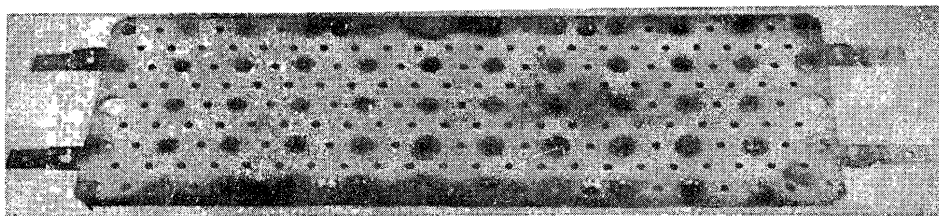


Рис.7. Катодная пластина.

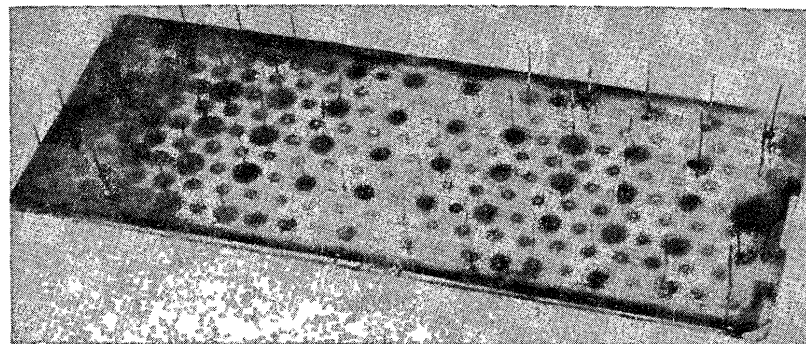


Рис.8. Торцевая пластина с анодными стержнями.

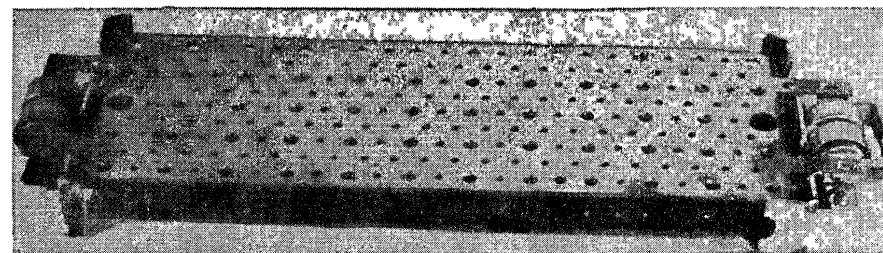


Рис.9. Электродный блок без торцевых пластин.

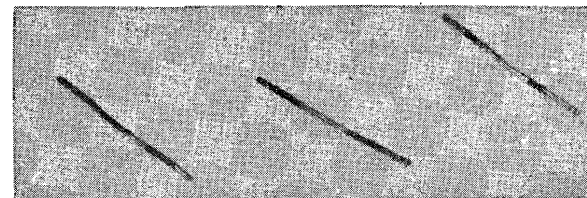


Рис.10. Анодные стержни.

Были произведены также поиски оптимального рабочего напряжения, подаваемого на катод насоса. Подаваемое напряжение изменялось в интервале от -2 до -7 кВ. В режиме кратковременных переключений оптимальным оказалось напряжение, равное 4 кВ. При этом напряжении в диапазоне давлений от $4 \cdot 10^{-5}$ до $6 \cdot 10^{-9}$ Тор откачивающее действие насоса оказалось максимальным.

В завершение испытаний в течение 5 часов проводилась откачка газов опытным насосом при давлении в камере $P = 3 \cdot 10^{-5}$ Тор с целью выявления возможного при этом насыщения катодов газами. После закрытия натекателя проводилась последующая откачка камеры. Через 2 часа такой откачки в камере был получен вакуум $P = 1 \cdot 10^{-7}$ Тор, а при дальнейшей откачке в течение двух суток давление стало равно $P = 7 \cdot 10^{-9}$ Тор. Таким образом, уменьшения производительности насоса вследствие насыщения катодов не наблюдалось.

После проведения этих испытаний насос был разгерметизирован и демонтирован. Фотографии катодной пластинки, торцевой пластины с анодными стержнями и вид на электродный блок без торцевых пластин приведены на рис. 7,8,9,10.

В итоге можно заключить, что предложенная конструкция насоса является работоспособной. Насос запускается без особых усилий при давлении $P = 1 \cdot 10^{-3}$ Тор. С помощью этого насоса удалось откачать камеру стенда до давления $P = (6 \div 7) \cdot 10^{-9}$ Тор.

После работы насоса в течение 5 часов при значительной газовой нагрузке ухудшения его параметров замечено не было. При осмотре насоса после герметизации обнаружено, что поверхность всех анодов в их центральной части стала блестящей вследствие их очистки электронами.

В заключение можно добавить, что вопросы оптимизации конструкции насоса, откачки инертных газов и многое другое требуют дальнейшей проработки и изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Г.А. Магниторазрядные насосы. М.: Энергия, 1970.
2. Кучеренко Е.Т. Справочник по физическим основам вакуумной техники. Киев: Вища школа. Изд-во при Киев. университете, 1981.
3. Hornsby J.S. CERN 63-7, Geneva, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 декабря 1987 года.

Антропов В.К., Мажулин А.В., Дерендяев Ю.С.
Использование инверсно-магнетронной системы
для создания вакуумного насоса

P9-87-874

Описывается магниторазрядный насос с электродной системой инверсно-магнетронного типа. Вместо традиционного сотобразного анода используются аноды в виде стержней, проходящих через отверстия в титановых катодах. Результаты расчета для электродных систем, различающихся частотой расположения анодов, показывают возможность разделения областей на поверхности катодов на распыляемые и на запыляемые. Стендовые испытания показали пригодность насоса для получения вакуума не хуже $P = 6 \cdot 10^{-9}$ Тор.

Работа выполнена в Общественном научно-методическом отделении ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Antropov V.K., Mazhulin A.V., Derendyaev Yu.S.
The Use of Inverse-Magnetron System for Designing
a Vacuum Pump

P9-87-874

A magnetic-discharge pump with an electrode system of inverse-magnetron type has been designed. Instead of a common honeycombed anode the use was made of anodes having the shape of rods going through orifices in titanium cathodes. Results of calculating the electrode systems having different distances between anodes point to a possibility to differentiate between the regions on the cathode surfaces to sprayed and those covered with dust. Bench tests have demonstrated the pump applicability to produce vacuum not worse than $P = 6 \cdot 10^{-9}$ Torr.

The investigation has been performed at the Scientific-Methodical Division, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987