



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 168 070** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **F 04 D 19/04**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

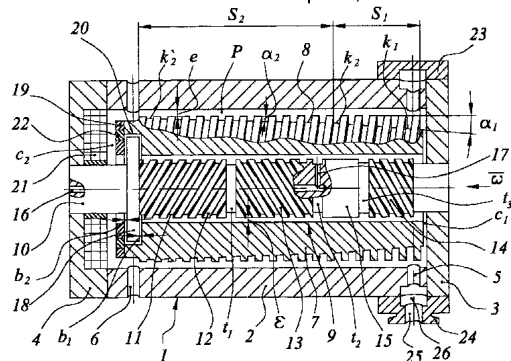
- (21), (22) Заявка: 99118215/06, 17.12.1998
(24) Дата начала действия патента: 17.12.1998
(46) Дата публикации: 27.05.2001
(56) Ссылки: RU 2016255 C1, 15.07.1994. SU 1550222 A1, 15.03.1990. SU 338684 A, 12.06.1972. SU 1657754 A, 23.06.1991. GB 1473374 A, 11.05.1977. WO 89/06320 A1, 13.07.1989. DE 2409857 B2, 24.03.1977.
(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: 04.08.1999
(86) Заявка PCT: RU 98/00418 (17.12.1998)
(87) Публикация PCT: WO 99/32792 (01.07.1999)
(98) Адрес для переписки: 113209, Москва, Новые Черемушки, кв-л 32 а, корп.3, кв.60, Кудряшовой О.Л.

- (71) Заявитель:
Научно-технический
промышленно-производственный кооператив
"Плазvak"
(72) Изобретатель: Вихрев В.И.,
Увин В.И., Николаичев В.И., Ухватов
А.И., Яковлев И.В., Чирков О.А.
(73) Патентообладатель:
Научно-технический
промышленно-производственный кооператив
"Плазvak"

(54) **МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС**

(57)
Насос может быть использован в технологических установках для создания и поддержания вакуума с остаточным давлением газа от 10^{-1} до 10^{-2} Па. В корпусе насоса имеются отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой и с вакуумируемой полостью. Ротор установлен с радиальными и аксиальными зазорами в корпусе. На наружной поверхности ротора, по существу, на всей его длине имеются винтовые канавки, образующие проточную часть по меньшей мере с двумя ступенями откачки, расположенную между этими отверстиями. Канавки выполнены в виде многозаходной резьбы. Внутренний диаметр резьбы увеличивается со стороны всасывания от отверстий, сообщенных с вакуумируемой полостью, в сторону нагнетания к отверстиям, сообщенным с атмосферой. В осевом отверстии ротора расположен вал, концами

жестко связанный с корпусом. Радиальный зазор между валом и отверстием ротора является газодинамической опорой ротора. Такое выполнение уменьшает вес и габариты насоса без изменения быстроты действия и степени сжатия газа. 8 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 168 070** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **F 04 D 19/04**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 99118215/06, 17.12.1998
(24) Effective date for property rights: 17.12.1998
(46) Date of publication: 27.05.2001
(85) Commencement of national phase: 04.08.1999
(86) PCT application:
RU 98/00418 (17.12.1998)
(87) PCT publication:
WO 99/32792 (01.07.1999)
(98) Mail address:
113209, Moskva, Novye Cheremushki, kv-1 32
a, korp.3, kv.60, Kudrjashovoj O.L.

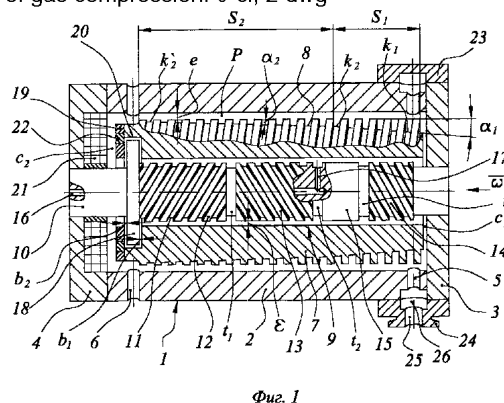
(71) Applicant:
Nauchno-tehnicheskij
promyshlenno-proizvodstvennyj kooperativ
"Plazvak"
(72) Inventor: Vikhrev V.I.,
Uvin V.I., Nikolaichev V.I., Ukhvatov
A.I., Jakovlev I.V., Chirkov O.A.
(73) Proprietor:
Nauchno-tehnicheskij
promyshlenno-proizvodstvennyj kooperativ
"Plazvak"

(54) **MOLECULAR VACUUM PUMP**

(57) Abstract:

FIELD: technological plants for pumping and maintaining vacuum at residual pressure of 10^{-1} to 10^{-2} Pa. SUBSTANCE: pump housing has holes for communication with atmosphere and with cavity to be evacuated. Rotor is mounted in housing at radial and axial clearances. Outer surface of rotor is provided with helical grooves over entire length; these grooves form flow section with at least two evacuation stages located between these holes. Grooves are made in form of multistart thread. Minor diameter of thread increases on suction side from holes communicated with cavity being evacuated towards discharge end to holes communicated with atmosphere. Shaft is located in axial hole; ends of this shaft are rigidly connected with housing. Radial clearance between shaft and hole is used as

gas-dynamic support for rotor. EFFECT: reduced mass and overall dimensions of pump with no change in pumping speed and degree of gas compression. 9 cl, 2 dwg



RU 2 168 070 C2

RU 2 168 070 C2

Предлагаемое изобретение относится к вакуумной технике, касается роторных насосов необъемного вытеснения для газов или паров, а именно молекулярных вакуумных насосов.

Предлагаемый молекулярный вакуумный насос может быть использован в различных технологических установках для создания и поддержания вакуума с остаточным давлением газа от 10^{-1} до 10^{-2} Па, например, в электронике при изготовлении микросхем, при выращивании кристаллов, а также в различных исследовательских установках и приборах, которые работают с использованием вакуума, например в ускорителях элементарных частиц, в масс-спектрометрах, электронных микроскопах, в течеискателях, в термоядерных реакторах для откачки тритийсодержащих сред.

Известно большое количество молекулярных вакуумных насосов, имеющих различные откачные характеристики, в частности, степень сжатия, быстроту действия и предельное остаточное давление газа.

Принцип действия молекулярного вакуумного насоса заключается в том, что молекулы откачиваемого газа при столкновении с вращающейся поверхностью ротора увлекаются в движение по винтовым каналам проточной части насоса от входного отверстия, со стороны всасывания, к выходному отверстию, в сторону нагнетания.

Откачные характеристики молекулярного вакуумного насоса в основном зависят от протяженности каналов откачки газа и соотношения площадей проходного сечения канала, зависящих от глубины канавок на его входе и выходе, скорости вращения ротора, величины зазора проточной части насоса.

Известен молекулярный вакуумный насос (см. заявку РСТ/SU88/00001), в корпусе которого расположен ротор, на наружной поверхности которого имеются канавки, расположенные по винтовым линиям, по существу по всей длине ротора, образующие с внутренней поверхностью корпуса каналы проточной части. Насос имеет также вал, расположенный по оси ротора, один конец которого жестко связан с ротором, а другой установлен в подшипниках скольжения и связан с электродвигателем, приводящим его во вращение. Давление на входе проточной части такого насоса может составлять от 10^{-1} до 10^{-7} Па, а давление на выходе -10 Па. Такой насос не может работать на атмосферу, он соединяется с форвакуумным насосом. При сообщении выходного отверстия с атмосферой такой насос не работоспособен, так как в проточной части возникает значительный обратный поток газа, поскольку во всей проточной части зазор между наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью корпуса превышает глубину винтовых канавок. При такой конструктивной связи ротора с электродвигателем биение оси ротора при вращении превышает величину, которая допустима при величине зазора проточной части, в которой по существу отсутствует обратный поток рассеивания газа. Величина такого зазора может быть соизмерима с длиной свободного пробега молекул откачиваемого газа и может составлять от 20 до 30 мкм, а биение оси ротора - в пределах от 0,5 до 1 мкм. Такую

точность могут обеспечить газостатические опоры, широко используемые в молекулярных вакуумных насосах.

Известен молекулярный вакуумный насос, с газостатическими опорами скольжения ротора, который работает на атмосферное давление, (см. патент RU N 2016255 C1 от 23.08.90).

В таком молекулярном вакуумном насосе в корпусе, имеющем отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой и с вакуумируемой полостью, расположен ротор, установленный с радиальными и аксиальными зазорами, один конец которого приспособлен для связи с электродвигателем и на наружной поверхности которого имеются винтовые канавки, образующие проточную часть по меньшей мере с двумя ступенями откачки, расположенную между этими отверстиями, выполненные в виде многозаходной резьбы, внутренний диаметр которой увеличивается со стороны всасывания, от отверстия, предназначенного для сообщения с вакуумируемой полостью, в сторону нагнетания, к отверстию, предназначенному для сообщения с атмосферой.

Ротор представляет собой вал, на одной половине которого по длине выполнены винтовые канавки, а другая половина ротора выполнена гладкой. Наружный диаметр обеих частей ротора по существу одинаков. Эти части ротора разделены кольцевым участком меньшего диаметра, связанным с технологией нарезки резьбы. Для связи с электродвигателем приспособлен конец со стороны гладкой части ротора.

Для сообщения с вакуумируемой полостью предусмотрено осевое отверстие, выполненное на торце корпуса. Ротор установлен в корпусе так, что к осевому отверстию обращен свободный конец ротора, со стороны, на которой выполнены винтовые канавки. Отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, выполнены в корпусе в средней его части и расположены радиально на уровне технологической проточки. Таким образом, протяженность проточной части по оси насоса, расположенной между этими отверстиями, составляет около половины длины ротора. При этом другая часть ротора, с гладкой наружной поверхностью, образует с внутренней поверхностью корпуса радиальную опору скольжения ротора.

Эта опора скольжения является газостатической опорой, в нее необходимо подавать сжатый воздух под давлением от $4 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$ Па. Для подачи сжатого воздуха в эту опору в корпусе имеются каналы, что требует увеличенной толщины стенок корпуса. При этом зазор, служащий радиальной газостатической опорой, непосредственно сообщен с проточной частью, являясь ее продолжением. При этом поток откачиваемого газа из проточной части и поток газа из опоры скольжения направлены навстречу друг другу и выходят из полости корпуса через одни и те же отверстия, сообщенные с атмосферой. На выходе из газостатической опоры поток газа имеет избыточное давление 240 Па, что уменьшает перепад давления в проточной части, и, следовательно, степень сжатия насоса.

При таком конструктивном выполнении

насоса его проточная часть, от протяженности которой зависят откачные характеристики, расположена не более чем на половине длины его ротора, что существенно увеличивает вес насоса и его длину.

Кроме того, тепловой режим работы такого насоса достаточно напряженный, что существенно снижает откачные характеристики и требует водяного охлаждения.

Необходимость постоянно подавать в газостатические опоры насоса сжатый воздух снижает надежность работы вакуумного насоса и усложняет условия его эксплуатации.

В основу изобретения поставлена задача создать молекулярный вакуумный насос с таким выполнением и расположением опор скольжения ротора и проточной части насоса, при которых уменьшились бы вес и габариты насоса для данной быстроты действия и степени сжатия газа и одновременно упростилось бы его конструктивное выполнение, повысилась надежность и срок службы.

Поставленная задача решена тем, что молекулярный вакуумный насос, в корпусе которого, имеющем отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой и с вакуумируемой полостью, расположен ротор, установленный с радиальными и аксиальными зазорами, один конец которого приспособлен для связи с электродвигателем и на наружной поверхности которого имеются винтовые канавки, образующие проточную часть по меньшей мере с двумя ступенями откачки, расположенную между этими отверстиями, выполненные в виде многозаходной резьбы, внутренний диаметр которой увеличивается со стороны всасывания, от отверстий, предназначенных для сообщения с вакуумируемой полостью, в сторону нагнетания, к отверстиям, предназначенным для сообщения с атмосферой, согласно изобретению содержит вал, концами жестко связанный с корпусом и установленный в выполненном в роторе осевом отверстии с радиальным зазором, который служит газодинамической опорой ротора, и сообщен с проточной частью со стороны нагнетания через аксиальный зазор, при этом канавки проточной части расположены по существу на всей длине ротора.

Такое конструктивное выполнение предлагаемого молекулярного вакуумного насоса позволяет по сравнению с известным насосом, имеющим такие же откачные характеристики, уменьшить его габариты и вес по меньшей мере в два раза.

Кроме того, упрощение конструктивного выполнения насоса повышает его надежность и срок службы.

Целесообразно, чтобы согласно изобретению проточная часть молекулярного вакуумного насоса имела две ступени откачки, в каждой из которых угол наклона внутреннего диаметра резьбы был постоянный, при этом угол наклона резьбы первой ступени, расположенной со стороны всасывания, был больше угла наклона резьбы второй ступени, расположенной со стороны нагнетания, и длина первой ступени составляла от 0,25 до 0,6 длины ротора, на которой выполнены канавки проточной части.

В молекулярном вакуумном насосе

согласно изобретению отношение глубины канавок на концах первой ступени проточной части может лежать в пределах от 20 до 100.

Для повышения надежности работы молекулярный вакуумный насос согласно изобретению на наружной поверхности вала может иметь канавки газодинамической опоры, расположенные по винтовым линиям в виде многозаходной резьбы.

Согласно изобретению канавки газодинамической опоры можно выполнить на кольцевых участках наружной поверхности вала с направлением резьбы соседних участков в одну или в противоположные стороны.

Согласно изобретению между соседними участками с канавками газодинамической опоры могут быть участки с гладкой наружной поверхностью.

Для исключения осевых нагрузок, действующих на ротор, и повышения надежности работы, в молекулярном вакуумном насосе согласно изобретению отверстия, предназначенные для сообщения с вакуумируемой полостью, расположены в средней части корпуса, а отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, расположены на конце корпуса со стороны конца ротора, приспособленного для связи с электродвигателем, при этом в корпусе имеются дополнительные отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, которые расположены на другом его конце, на таком же расстоянии от отверстий, расположенных в средней части, что и основные отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, и на наружной поверхности ротора между отверстиями, расположенными в средней части, и дополнительными отверстиями выполнены канавки в виде многозаходной резьбы, по существу аналогичные основным канавкам, но имеющие противоположное направление резьбы, образующие дополнительную проточную часть, с направлением откачки, противоположным направлению откачки основной проточной части.

Для упрощения конструктивного выполнения и повышения надежности и срока службы, молекулярный вакуумный насос согласно изобретению может содержать магнитную опору для поддержания аксиального зазора между корпусом и ротором, расположенную с другого конца ротора и содержащую расположенные коаксиально кольцо и диск или цилиндр из магнитотвердого материала, при этом диск или цилиндр жестко связан с валом, а кольцо - с ротором.

Для повышения быстроты действия в молекулярном вакуумном насосе согласно изобретению на внутренней поверхности корпуса имеются канавки в виде многозаходной резьбы, расположенные по длине основной и дополнительной проточных частей и выполненные аналогично канавкам на наружной поверхности ротора, при этом направление резьбы на корпусе соответствующей проточной части противоположно направлению резьбы на роторе.

В дальнейшем изобретение поясняется описанием конкретного варианта его осуществления и прилагаемыми чертежами, на которых:

фиг. 1 изображает молекулярный вакуумный насос с одной проточной частью (продольный разрез) согласно изобретению;

фиг. 2 - молекулярный вакуумный насос с двумя проточными частями, (продольный разрез с частичным сечением вала ротора в месте расположения магнитной опоры) согласно изобретению.

Предлагаемый молекулярный вакуумный насос содержит корпус 1 (фиг. 1), состоящий из цилиндра 2 с торцевыми крышками 3 и 4.

В цилиндре 2 имеются две группы отверстий 5 и 6, которые расположены на разных концах цилиндра 2. Отверстия 5 предназначены для сообщения с вакуумируемой полостью и расположены на конце цилиндра 2 со стороны торцевой крышки 3. Отверстия 6 предназначены для сообщения с атмосферой и расположены на другом его конце, со стороны торцевой крышки 4.

Количество отверстий 5 или 6 в каждой группе может быть от трех до восьми. Оси отверстий 5 и 6 в каждой группе в показанном на фиг. 1 варианте насоса расположены радиально, по существу в одной плоскости на одинаковом расстоянии одно от другого по окружности. Диаметр отверстий 5 или 6 составляет не менее 3 мм. Количество отверстий 5 и 6 в каждой группе, их диаметр могут быть и другими, они выбираются в зависимости от быстроты действия насоса, чем выше быстрота действия, тем больше количество и диаметр отверстий 5 и 6.

В корпусе 1 молекулярного вакуумного насоса расположен ротор 7. Ротор 7 установлен в корпусе 1 по существу свободно, радиальный зазор ϵ между внутренней поверхностью цилиндра 2 и наружной поверхностью ротора 7 может составлять от 10 до 15 мкм. При ϵ больше 15 мкм возможен обратный поток газа в вакуумируемую полость, что снижает откачные характеристики насоса. Зазор ϵ меньше 10 мкм технологически сложно выдержать.

На наружной поверхности ротора 7 имеются канавки 8, образующие проточную часть Р, сообщенную через отверстия 5 и 6 соответственно с вакуумируемой полостью и с атмосферой. Канавки 8 расположены по винтовым линиям в виде многозаходной резьбы по существу по всей длине ротора 7. При этом одна из торцевых поверхностей ротора 7 расположена в непосредственной близости от одной из плоскостей, в которых лежат оси одной из групп отверстий 5 или 6.

Внутренний диаметр резьбы увеличивается, а глубина канавок 8 уменьшается со стороны всасывания, от отверстий 5, предназначенных для сообщения с вакуумируемой полостью, в сторону нагнетания, к отверстиям 6, предназначенным для сообщения с атмосферой. При этом суммарное проходное сечение отверстий 5 и 6 в каждой группе выбирается из условия отсутствия подпора газа, выходящего из проточной части Р насоса через отверстия 6.

Ротор 7 предлагаемого молекулярного вакуумного насоса выполнен по существу полым, в нем имеется осевое отверстие 9.

Насос содержит также вал 10, концами жестко связанный, например, с помощью плотной посадки, с торцевыми крышками 3 и 4 корпуса 1. Вал 10 расположен в осевом отверстии 9 ротора 7 и установлен в нем с

зазором ϵ , который при вращении служит опорой скольжения ротора 7. Кольцевой зазор ϵ между наружной поверхностью вала 10 и поверхностью отверстия 9 ротора 7 является радиальной газодинамической опорой ротора 7 и при их соосном расположении может лежать в пределах от 1 до 15 мкм, соответственно диаметр вала 10 может быть меньше диаметра отверстия 9 на величину от 2 до 30 мкм.

Диаметр отверстия 9 может составлять от 0,25 до 0,5 наружного диаметра ротора 7. Диаметр этого отверстия 9 выбирается с учетом требований к радиальной газодинамической опоре, например жесткости. Как известно, радиальные зазоры опор скольжения, служащие газодинамическими опорами, могут составлять от 1 до 15 мкм и более в зависимости от диаметра вала, и, в отличие от газостатической опоры, в них не требуется подводить сжатый газ. Зазор ϵ меньше 1 мкм выбирать не целесообразно, поскольку усложняется технология изготовления опоры. При зазоре ϵ , большем 15 мкм, уменьшается несущая способность газодинамической опоры. В описываемом варианте насоса радиальный зазор ϵ лежит в пределах от 3 до 5 мкм.

Протяженность и выполнение канавок, образующих проточную часть насоса, то есть конструктивные параметры резьбы, в основном определяют откачные характеристики молекулярных вакуумных насосов и, следовательно, их габариты: длину и диаметр. Длина ротора, по существу равная протяженности проточной части по оси предлагаемого насоса, определяет длину его корпуса. При этом диаметр ротора, задающий протяженность проточной части по винтовой линии, выбирается из условия, чтобы длина ротора была не меньше диаметра. Наружный диаметр корпуса 1 предлагаемого молекулярного вакуумного насоса, например, для быстроты действия 20 м³/мин и степени сжатия 10⁶ - 10⁸, может составлять около 100 мм, а длина около 190 мм. Длина и вес такого насоса уменьшены по сравнению с длиной и весом известного насоса по меньшей мере в два раза.

Канавки проточной части могут быть выполнены как в известных молекулярных вакуумных насосах. Угол наклона резьбы может составлять от 15° до 25° и может быть как постоянным, так и переменным по длине ротора. Профиль резьбы преимущественно прямоугольный. Ширина канавок и ширина перемычек между ними может быть как одинакова, так и изменяться по длине проточной части. В показанном на фиг.1 варианте насоса канавки 8 имеют одинаковую ширину, которая при нарезке резьбы может составлять около 1 мм, ширина перемычек равна ширине канавок 8. Профиль резьбы может быть не только прямоугольным, но и другим, например трапециевидным.

Внутренний диаметр резьбы, образующей проточную часть Р, может изменяться как и в других подобных насосах, как плавно, так и ступенчато, при этом проточная часть Р может содержать две и более ступеней откачки. В показанном на фиг.1 варианте насоса проточная часть Р имеет две ступени S₁ и

S_2 откачки. На первой ступени S_1 - молекулярный режим течения газа, на второй ступени S_2 - вязкостный. В каждой из ступеней S_1 и S_2 соответствующий угол α_1 и α_2 наклона внутреннего диаметра резьбы постоянный. Угол α_1 наклона внутреннего диаметра резьбы первой ступени S_1 , сообщенной с вакуумируемой полостью, больше угла α_2 наклона внутреннего диаметра резьбы второй ступени S_2 , сообщенной с атмосферой α_1, α_2 .

Величина углов α_1 и α_2 зависит от длины ступеней S_1 и S_2 , глубины k_1, k_2, k_2^1 канавок 8 на концах этих ступеней S_1 и S_2 .

Протяженность проточной части Р по оси ротора 7 выбирается в зависимости от необходимой быстроты действия и степени сжатия, она равна суммарной длине обеих ступеней $S_1 + S_2$ насоса. Поскольку винтовые канавки 8, образующие проточную часть Р, выполнены по существу по всей длине ротора 7, суммарная длина обеих ступеней $S_1 + S_2$ по существу равна длине ротора 7. Длина первой ступени S_1 может составлять от 0,25 до 0,6 длины ротора 7, на которой выполнены канавки 8 проточной части Р. Для большей быстроты действия длина S_1 выбирается больше. Для большей степени сжатия длина S_1 выбирается меньше. В показанном на фиг. 1 варианте насоса длина первой ступени S_1 составляет 0,25 длины ротора 7.

Глубина k_1, k_2, k_2^1 канавок 8 и, соответственно, значения углов наклона α_1 и α_2 и длина ступеней S_1 и S_2 зависят от длины свободного пробега молекул откачиваемого газа, которая изменяется в соответствии с изменением давления газа в проточной части Р насоса. Например, при давлении 10^{-1} Па длина свободного пробега молекул азота равна 67 мм. Глубина k_1, k_2 канавок 8 первой молекулярной ступени откачки подбирается экспериментальным путем в зависимости от длины свободного пробега молекул откачиваемого газа, она должна быть соизмерима с длиной свободного пробега молекул откачиваемого газа. Глубина k_1 канавок 8 в начале первой ступени S_1 проточной части Р со стороны сообщенной с вакуумируемой полостью, в которой остаточное давление газа составляет около 10^{-1} Па, может лежать в пределах от 3 до 10 мм. Для более низкого остаточного давления глубина канавок 8 выбирается большей.

Глубина k_2 канавок 8 в конце первой ступени S_1 зависит от длины первой ступени S_1 , и степени сжатия. Отношение глубины k_1 и k_2 канавок 8 на концах первой ступени может быть от 20 до 100, поскольку длина свободного пробега молекул откачиваемого газа при степени сжатия газа на концах первой ступени S_1 , которая является молекулярной ступенью, может отличаться от 20 до 100 раз. При этом, чем меньше длина S_1 первой ступени, тем это отношение выбирается большим. Например, в показанном на фиг.1 варианте отношение k_1 к k_2 может составлять 50.

Глубина k_2 канавок 8 в конце первой ступени S_1 может составлять от 80 до 100 мкм. Глубина канавок 8 в начале второй ступени S_2 равна глубине k_2 канавок 8 в конце первой ступени S_1 проточной части Р. Глубина k_2^1 канавок 8 в конце второй ступени S_2 , то есть со стороны проточной части Р насоса, сообщенной с атмосферой, может составлять от 20 до 25 мкм.

Для повышения надежности работы молекулярного вакуумного насоса в номинальном режиме при скоростях вращения ротора более 20000 об/мин на наружной поверхности вала 10 имеются канавки 11 газодинамической опоры, расположенные по винтовым линиям в виде многозаходной резьбы. Канавки 11 служат для предотвращения появления в опоре полускоростного вихря, который при скоростях вращения более 20000 об/мин может привести к разрушению газодинамической опоры. Угол наклона резьбы канавок 11 газодинамической опоры может составлять от 18° до 60° . Глубина канавок 11 одинакова, она может быть от 1 до 15 мкм, и в зависимости от величины зазора ε может составлять от 0,5 до 1 ε . Глубина канавок 11 менее 1 мкм не эффективна, а при глубине более 15 мкм не обеспечивается необходимая несущая способность газодинамической опоры.

Канавки газодинамической опоры могут быть выполнены как по всей длине вала, так и на отдельных кольцевых участках, как одинаковой, так и разной ширины, с направлением нарезки резьбы соседних участков как в одну, так и в противоположные стороны. Ширина кольцевых участков с канавками газодинамической опоры может составлять от 0,2 до 0,5 длины ротора. Между соседними кольцевыми участками, имеющими резьбовые канавки, могут быть расположены кольцевые участки с гладкой наружной поверхностью. Выбор конкретного варианта расположения и выполнения участков газодинамической опоры зависит от многих факторов, в частности, от конструктивного выполнения насоса, например расположения отверстий, сообщенных с вакуумируемой полостью или от условий его работы, например запыленности. В показанном на фиг.1 ε варианте насоса канавки 11 выполнены на валу 10 на трех кольцевых участках 12,13,14. Между участками 13 и 14 расположен кольцевой участок 15 с гладкой наружной поверхностью. На участках 13 и 14 винтовые линии, вдоль которых расположены канавки 11, направлены в одну сторону, а на участке 12 - в другую. Соседние участки 12 и 13, 13 и 15, 14 и 15 разделены кольцевыми проточками соответственно t_1, t_2 и t_3 , наличие которых связано с технологией нарезки резьбы. Величина кольцевого зазора, образованного этими проточками, больше величины ε . Направление резьбы на участках 12, 13, 14 зависит от заданного направления циркуляции газа в газодинамической опоре и выбирается в зависимости от направления вращения ротора 7 (на фиг. 1 показано стрелкой ω). На участках 13 и 14 резьба правая, а на участке 12 - левая. Резьба на участке 14 выполнена правой для уплотнения вакуумируемой полости, направление резьбы на участках 12 и 13 к проточке t_1 , повышает

эффективность газодинамической опоры. Для подвода газа в зазор ε вал 10 имеет сообщенные между собой осевой канал 16, сообщенный с атмосферой, и радиальный канал 17, сообщенный с зазором ε .

Для фиксации осевого положения ротора 7 он имеет аксиальную газодинамическую опору. Этой опорой служат зазоры b_1 и b_2 между кольцевым выступом 18, выполненным на конце вала 10, расположенном со стороны торцевой крышки 4, шайбой 19 и поверхностью проточки 20, выполненной в роторе 7. Шайба 19 жестко связана с ротором 7. На торцевых поверхностях выступа 18 имеются спиральные канавки газодинамической опоры (на чертеже не показаны), выполненные известным образом.

Направление резьбы на роторе 7 также зависит от выбора направления ω его вращения. В показанном на фиг. 1 варианте насоса на роторе 7 резьба левая.

Один конец ротора 7 приспособлен для связи с электродвигателем, приводящим его во вращение. В качестве электродвигателя, может быть использован любой электродвигатель, например вентильный или гистерезисный. В показанном на чертеже варианте использован вентильный электродвигатель, статорная обмотка 21 которого смонтирована в крышке 4 корпуса 1, а ротор электродвигателя содержит цилиндрические элементы 22 из магнитотвердого материала, являющиеся постоянными магнитами, которые установлены в отверстиях, выполненных в шайбе 19.

Кольцевые зазоры e и e' , то есть проточная часть P и радиальная газодинамическая опора ротора 7, в нерабочем состоянии насоса, при неподвижном роторе 7, сообщены между собой со стороны свободного конца ротора 7, то есть со стороны всасывания, через аксиальный зазор s_1 между крышкой 3 и торцевой поверхностью ротора 7, а со стороны его конца, связанного с электродвигателем, то есть со стороны нагнетания, - через аксиальный зазор s_2 между крышкой 4 и другой торцевой поверхностью шайбы 19. Величина этих зазоров s_1 и s_2 может составлять от 3 до 5 мм и более.

Снаружи, в месте расположения отверстий 5 цилиндр 2 корпуса 1 охвачен кольцом 23 с фланцем 24, предназначенным для стыковки с вакуумируемой полостью (на чертеже не показана). Во фланце 24 имеется отверстие 25, и кольцо 23 расположено так, что ось отверстия 25 по существу совмещена с осью одного из отверстий 5. Остальные отверстия 5 перекрыты кольцом 23. На наружной поверхности цилиндра 2 в месте расположения отверстий 5 и на внутренней поверхности кольца 23 выполнены кольцевые проточки, которые совмещены между собой, образуя кольцевую полость 26, сообщенную через отверстие 25 с вакуумируемой полостью.

В показанном на фиг.2 варианте представлен предлагаемый молекулярный вакуумный насос, диаметр которого по сравнению с насосом такой же быстроты действия, представленным на фиг. 1, уменьшен по меньшей мере в 1,5 раза. В этом насосе две - основная и дополнительная

проточные части P_1 и P_2 расположены между внутренней поверхностью цилиндра 27 корпуса 1 и наружной поверхностью установленного в нем ротора 28.

Корпус 1 имеет также торцевые крышки 29 и 30, жестко связанные с цилиндром 27.

В средней части цилиндра 27 выполнены отверстия 31, предназначенные для сообщения проточных частей P_1 и P_2 насоса с вакуумируемой полостью. Отверстия 31 расположены радиально на одинаковом расстоянии одно от другого по окружности. Количество отверстий 31 может быть любым, но наиболее целесообразно, как и в показанном на фиг. 1 варианте насоса, выполнять от трех до восьми отверстий 31.

В корпусе 1 на противоположных концах цилиндра 27 по существу на одинаковом по его оси расстоянии от отверстий 31 имеются две группы радиально расположенных отверстий 32 и 33, предназначенные для сообщения проточных частей P_1 и P_2 насоса с атмосферой.

Количество отверстий 32 и 33 в каждой группе может быть от трех до восьми, их диаметр - не менее 3 мм. При этом суммарное проходное сечение отверстий 31, 32 и 33 в каждой группе выбирается из условия отсутствия подпора газа, выходящего из проточных частей P_1 и P_2 насоса соответственно через отверстия 32 и 33. Например, при одинаковом количестве отверстий 31, 32 и 33 в каждой группе, и одинаковом диаметре отверстий 32 и 33, диаметр отверстий 31 должен быть в два раза больше диаметра отверстий 32 и 33.

На наружной поверхности ротора 28 выполнены канавки 34 и 35, образующие основную и дополнительную проточные части P_1 и P_2 . При этом канавки 34 основной проточной части P_1 могут быть выполнены аналогично выполнению канавок 8 проточной части P молекулярного вакуумного насоса, представленного на фиг. 1. Канавки 35 дополнительной проточной части P_2 выполнены по существу аналогично канавкам 34 основной проточной части P_1 но имеют противоположное направление резьбы, для задания в дополнительной проточной части P_2 направления откачки, в сторону, противоположную направлению откачки в основной проточной части P_1 . При этом протяженность основной проточной части P_1 равна протяженности дополнительной проточной части P_2 и составляет $S_1^1 + S_2^1$ то есть равна суммарной длине обеих ступеней откачки.

В показанном на фиг.2 варианте насоса длина первой ступени S_1^1 составляет 0,6 длины ротора 28, на которой выполнены канавки 34 или 35 основной или дополнительной проточной части P_1 или P_2 , то есть S_1^1 равна $0,6(S_1^1 + S_2^1)$, что обеспечивает максимальную степень сжатия.

Отношение глубины канавок 34 или 35 на концах первой ступени S_1^1 основной или дополнительной проточной части P_1 или P_2 выбрано равным 20, поскольку длина S_1^1 выбрана максимальной.

Винтовые линии, вдоль которых расположены канавки 34 и 35, направлены в

разные стороны для формирования двух противоположно направленных потоков откачиваемого газа - одного от отверстия 31 к отверстиям 32, а другого от этих же отверстий 31 к отверстиям 33.

Преимущество такого конструктивного выполнения вакуумного насоса заключается в разделении откачиваемого газа на два противоположно направленных потока, при этом практически отсутствует осевая сила, действующая на ротор 28. В известном насосе и в насосе, представленном на фиг. 1, эта осевая сила может составлять, например, для ротора диаметром 65 мм около 300 Н.

В предлагаемом молекулярном вакуумном насосе для фиксации осевого положения ротора может быть установлена магнитная опора. Использование магнитной опоры вместо аксиальной газодинамической опоры, используемой в варианте насоса, представленном на фиг. 1, на которую воздействуют существенные осевые нагрузки, позволяет повысить надежность насоса и срок его службы. При этом жесткость используемой магнитной опоры в предлагаемом насосе не высока, поскольку отсутствует осевая сила и вес ротора по сравнению с известным насосом уменьшен не менее чем в два раза. Магнитная опора позволяет надежно центрировать по оси корпуса 1 ротор 28, имеющий большую протяженность по сравнению с ротором 7 (фиг. 1).

Ротор 28 (фиг. 2) выполнен с осевым отверстием 36. В этом отверстии 36 установлен вал 37, концами жестко связанный с торцевыми крышками 29 и 30. На наружной поверхности вала 37 имеются канавки 38 в виде многозаходной резьбы, образующие радиальную газодинамическую опору ротора 28, которая может быть выполнена как при описании насоса, представленного на фиг. 1.

Магнитная опора в предлагаемом молекулярном насосе содержит кольцо 39, установленное в проточке, выполненной на торце ротора 28, обращенном к торцевой крышке 29 корпуса 1, и диск 40, установленный в отверстии вала 37 ротора 28, и поджатый пробкой 41. Элементы магнитной опоры выполнены из магнитотвердых материалов, применяющихся в качестве постоянных магнитов.

При больших габаритах ротора для создания более сильного магнитного поля можно в отверстие вала 37 установить цилиндр (на чертеже не показан).

В показанном на фиг.2 варианте насоса винтовые канавки 39 газодинамической опоры выполнены на четырех кольцевых участках 42,43,44,45 вала 37, имеющих одинаковую ширину. Между соседними кольцевыми участками 42 и 43, 43 и 44, 44 и 45 с канавками 39 расположен соответственно кольцевой участок 46, 47, 48 с гладкой наружной поверхностью. Наружный диаметр кольцевых участков 42, 43, 46 и 44, 48, 45, образующих газодинамическую опору, одинаковый, зазор ε^1 между валом 37 и отверстием 36 ротора 28 может составлять от 1 до 15 мкм. Наружный диаметр кольцевого участка 47 вала 38 меньше наружного диаметра кольцевых участков 42, 43, 46 и 44, 48, 45, при этом зазор ε^1 составляет от 20 до 30 мкм. Для сообщения газодинамической опоры с атмосферой вал 37 имеет два

радиальных канала 49 и 50, сообщенные между собой осевым каналом (на чертеже не показан).

В предлагаемом варианте вакуумного насоса на внутренней поверхности цилиндра 27 корпуса 1 для увеличения площади проходного сечения основной и дополнительной проточных частей P_1 и P_2 выполнены канавки 51 и 52 в виде многозаходной резьбы. Канавки 51 выполнены аналогично канавкам 34, но имеют по сравнению с ними противоположное направление нарезки резьбы. Канавки 52 выполнены аналогично канавкам 35, но имеют по сравнению с ними противоположное направление нарезки резьбы. Канавки 51 и 34 образуют основную проточную часть P_1 , а канавки 52 и 35- дополнительную проточную часть P_2 . Увеличение площади проходного сечения проточных частей P_1 и P_2 увеличивает откачные характеристики насоса, в частности быстроту действия.

Снаружи, в месте расположения отверстий 31 цилиндр 27 корпуса 1 охвачен кольцом 53 с фланцем 54, предназначенным для стыковки с вакуумируемой полостью (на чертеже не показана). Во фланце 54 имеется отверстие 55 и кольцо 53 расположено так, что ось отверстия 55 по существу совмещена с осью одного из отверстий 31 для сообщения проточных частей P_1 и P_2 с вакуумируемой полостью. Остальные отверстия 31 перекрыты кольцом 53. На наружной поверхности цилиндра 27 в месте расположения отверстий 31 и на внутренней поверхности кольца 53 выполнены кольцевые проточки, которые совмещены между собой, образуя кольцевую полость 56, сообщенную через отверстие 55 с вакуумируемой полостью.

Кроме того, на внутренней поверхности цилиндра 27 в месте расположения отверстий 31 и на наружной поверхности ротора 29 также выполнены кольцевые проточки, которые совмещены между собой, образуя кольцевую полость 57, сообщенную с проточными частями P_1 и P_2 и через отверстия 31 - с кольцевой полостью 56.

В показанном на фиг. 2 варианте насоса использован также вентильный электродвигатель, статорная обмотка 58 которого смонтирована в крышке 30 корпуса 1, а ротор электродвигателя содержит цилиндрические элементы 59 из магнитотвердого материала, являющиеся постоянными магнитами, которые установлены в отверстиях, выполненных на торце ротора 28.

Проточная часть P_1 и кольцевой зазор ε^1 радиальной газодинамической опоры ротора 28, сообщены между собой с конца ротора 28, связанного с электродвигателем, через аксиальный зазор c_2^1 между крышкой 30 и торцевой поверхностью ротора 28. Проточная часть P_2 и кольцевой зазор ε^1 с другого его конца сообщены через аксиальный зазор c_1^1 между крышкой 29 и другой торцевой поверхностью ротора 28. Величина этих зазоров c_1^1 и c_2^1 может составлять от 3 до 5 мм и более.

Предлагаемый молекулярный вакуумный насос, представленный на фиг. 1, работает следующим образом. Фланец 24 кольца 23

подсоединяется к вакуумируемой полости (на чертеже не показана) и место стыка герметизируется. До приведения во вращение ротора 7 в полости корпуса 1 - в зазорах $\varepsilon, \varepsilon, b^1, b_2, c_1, c_2$ и каналах 16 и 17, кольцевой полости 26, отверстиях 5 и 6 - давление газа равно атмосферному. После включения электродвигателя при взаимодействии его статора 21 с элементами 22 ротор 7 насоса приводится во вращение со скоростью более 20000 об/мин в направлении ω . При вращении ротора 7 за счет сил вязкого трения газ в зазоре ε вовлекается во вращение и направляется канавками 11 радиальной газодинамической опоры на участках 12 и 13 к проточке t_1 , создавая в зазоре ε избыточное давление газа, обеспечивающее центрирование ротора 7 по оси вала 10, препятствующее контакту вала 10 и ротора 7. Канавками 11 радиальной газодинамической опоры на участке 14 газ направляется к проточке t_3 , создавая в зазоре ε избыточное давление газа, обеспечивающее наряду с центрированием ротора 7 уплотнение зазора c_1 , сообщенного с проточной частью Р со стороны всасывания, то есть со стороны вакуумируемой полости.

Давлением газа в зазорах b_1 и b_2 аксиальной газодинамической опоры обеспечивается фиксация осевого положения ротора 7. Использование в предлагаемом вакуумном насосе радиальной и аксиальной газодинамической опоры обеспечивает его надежную работу и не требует принудительной подачи сжатого газа в опору, как в известном насосе.

Кроме того, в аксиальном зазоре c_2 , который сообщен с газодинамической опорой и проточной частью Р со стороны нагнетания, давление газа равно атмосферному. Это по сравнению с известным насосом позволяет улучшить откачные характеристики предлагаемого насоса, в частности повысить степень сжатия.

При вращении ротора 7 молекулы газа, откачиваемого из вакуумируемой полости, попавшие через отверстие 25, кольцевую полость 26 и отверстия 5 в проточную часть Р насоса со стороны всасывания, захватываются поверхностью канавок 8 и вовлекаются в движение, направляя в проточной части Р откачиваемый поток газа от отверстий 5 к отверстиям 6, то есть со стороны всасывания в сторону нагнетания. При этом давление газа со стороны всасывания, то есть в вакуумируемой полости, уменьшается до требуемого остаточного давления, которое может достигать от 10^{-1} до 10^{-2} Па. В установившемся режиме работы насоса на длине S_1 первой ступени обеспечивается преимущественно молекулярный режим течения газа, при котором вероятность столкновения молекул газа друг с другом меньше вероятности их столкновения с канавками 8. Перепад давлений на протяжении первой ступени S_1 может составлять от 10^{-1} - 10^{-2} до 10^2 Па. На длине S_2 второй ступени обеспечивается преимущественно вязкостный режим течения газа, при котором вероятность столкновения молекул газа друг с другом больше вероятности их столкновения с канавками 8.

Давление в конце второй ступени S_2 составляет 10^5 Па, то есть равно атмосферному. В переходной зоне между S_1 и S_2 -молекулярно-вязкостный режим течения газа. Обратный поток газа в такой проточной части Р по существу отсутствует, поскольку зазор ε мал и составляет от 10 до 15 мкм. Таким образом, габариты и вес предлагаемого вакуумного насоса по сравнению с известным насосом с такими же откачными характеристиками уменьшены по меньшей мере в два раза. При этом нет необходимости подавать сжатый газ в опоры скольжения ротора.

Молекулярный вакуумный насос, представленный на фиг.2, работает следующим образом. Положение ротора 28, как в рабочем положении, при включенном электродвигателе, так и в нерабочем положении, при выключенном электродвигателе, (фиксируется по оси вала 37 магнитной опорой за счет взаимодействия кольца 39 и диска 40. При их взаимодействии выдерживается требуемая величина аксиальных зазоров c_1^1 и c_2^1 и обеспечивается совмещение проточек в цилиндре 27 и на роторе 28, образующих кольцевую полость 57. Фланец 54 кольца 53 подсоединяется к вакуумируемой полости (на чертеже не показана) и место стыка герметизируется. До проведения во вращение ротора 28 в полости корпуса 1 - в зазорах $\varepsilon^1, \varepsilon^1, c_1^1, c_2^1$, в проточных частях P^1 и P_2 каналах 49, 50, давление газа равно атмосферному. После включения электродвигателя ротор 28 приводится во вращение. При вращении ротора 28 за счет сил вязкого трения газ в зазорах ε^1 и ε^1 вовлекается во вращение и направляется канавками 38 радиальной газодинамической опоры на участках 42 и 43 к участку 46, а на участках 44 и 45 к участку 48, создавая избыточное давление газа на протяжении каждой группы участков 42,46,43 и 44,48,45, обеспечивающее центрирование ротора 28 по оси вала 37, препятствующее контакту ротора 28 с валом 37. По каналам 49 и 50 газ подводится в газодинамическую опору к участку 47. Вдоль участка 47 давление равно атмосферному.

При вращении ротора 28 молекулы газа, откачиваемого из вакуумируемой полости, попавшие через отверстие 55, кольцевую полость 56, отверстия 31 в кольцевую полость 57 захватываются поверхностью канавок 34 или 35. Канавками 34 они вовлекаются в движение, направляя откачиваемый поток газа вдоль проточной части P_1 от отверстий 31 к отверстиям 33 в атмосферу. Канавками 35 молекулы газа вовлекаются в движение, направляя откачиваемый поток газа вдоль проточной части P_2 от отверстий 31 к отверстиям 32 в атмосферу. Таким образом, при работе молекулярного вакуумного насоса, представленного на фиг.2, поток газа, откачиваемый из вакуумируемой полости, разделяется в кольцевой полости 57 на два потока, направленных в противоположные стороны, поэтому осевые силы, действующие на ротор 28, которые возникают вследствие разницы давлений на стороне всасывания, со

стороны отверстий 31, и на стороне нагнетания, со стороны отверстий 32 или 33, каждой проточной части P_1 и P_2 , уравновешиваются.

Работа каждой из проточных частей P_1 и P_2 по существу аналогична работе проточной части P насоса, представленного на фиг. 1, за исключением того, что наличие канавок 51 и 52 на внутренней поверхности цилиндра 27 корпуса 1 увеличивает площадь проходного сечения проточных частей P_1 и P_2 , что улучшает откачные характеристики насоса, в частности быстроту действия.

Формула изобретения:

1. Молекулярный вакуумный насос, в корпусе которого, имеющем отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой и с вакуумируемой полостью, расположен ротор, установленный с радиальными и аксиальными зазорами, один конец которого приспособлен для связи с электродвигателем и на наружной поверхности которого имеются винтовые канавки, образующие проточную часть по меньшей мере с двумя ступенями откачки, расположенную между этими отверстиями, выполненные в виде многозаходной резьбы, внутренний диаметр которой увеличивается со стороны всасывания от отверстий, предназначенных для сообщения с вакуумируемой полостью, в сторону нагнетания к отверстиям, предназначенным для сообщения с атмосферой, отличающийся тем, что содержит вал, концами жестко связанный с корпусом и установленный в выполненном в роторе осевом отверстии с радиальным зазором, который служит газодинамической опорой ротора и сообщен с проточной частью со стороны нагнетания через аксиальный зазор, при этом канавки проточной части расположены, по существу, на всей длине ротора.

2. Молекулярный вакуумный насос по п.1, отличающийся тем, что проточная часть имеет две ступени откачки, в каждой из которых угол наклона внутреннего диаметра резьбы постоянный, при этом угол наклона резьбы первой ступени, расположенной со стороны всасывания, больше угла наклона резьбы второй ступени, расположенной со стороны нагнетания, и длина первой ступени составляет от 0,25 до 0,6 длины ротора, на которой выполнены канавки проточной части.

3. Молекулярный вакуумный насос по п.2, отличающийся тем, что отношение глубины канавок на концах первой ступени проточной части лежит в пределах от 20 до 100.

4. Молекулярный вакуумный насос по п.1, или 2, или 3, отличающийся тем, что на наружной поверхности вала имеются канавки газодинамической опоры, расположенные по

винтовым линиям в виде многозаходной резьбы.

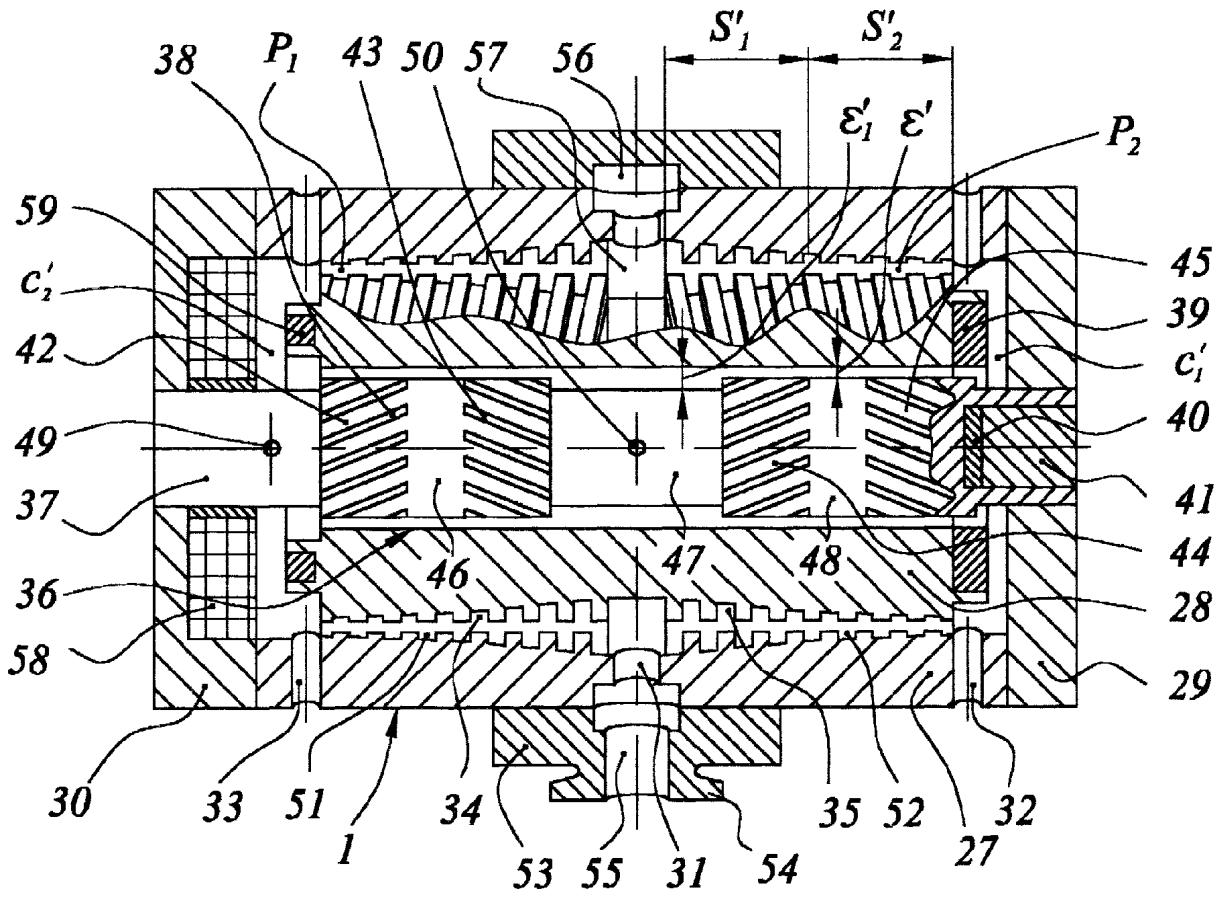
5. Молекулярный вакуумный насос по п.4, отличающийся тем, что канавки газодинамической опоры выполнены на кольцевых участках наружной поверхности вала с направлением резьбы соседних участков в одну или в противоположные стороны.

6. Молекулярный вакуумный насос по п.5, отличающийся тем, что между соседними участками с канавками газодинамической опоры имеются участки с гладкой наружной поверхностью.

7. Молекулярный вакуумный насос по любому из пп.1 - 4, отличающийся тем, что отверстия, предназначенные для сообщения с вакуумируемой полостью, расположены в средней части корпуса, а отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, расположены на конце корпуса со стороны конца ротора, приспособленного для связи с электродвигателем, при этом в корпусе имеются дополнительные отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, которые расположены на другом его конце, на таком же расстоянии от отверстий, расположенных в средней части, что и основные отверстия, предназначенные для сообщения с атмосферой, и на наружной поверхности ротора между отверстиями, расположенными в средней части, и дополнительными отверстиями выполнены канавки в виде многозаходной резьбы, по существу, аналогичные основным канавкам, но имеющие противоположное направление резьбы, образующие дополнительную проточную часть с направлением откачки, противоположным направлению откачки основной проточной части.

8. Молекулярный вакуумный насос по любому из пп.1 - 4, 7, отличающийся тем, что содержит магнитную опору для поддержания аксиального зазора между корпусом и ротором, расположенную с другого конца ротора и содержащую расположенные коаксиально кольцо и диск или цилиндр из магнитотвердого материала, при этом диск или цилиндр жестко связан с валом, а кольцо - с ротором.

9. Молекулярный вакуумный насос по любому из пп.1 - 4, 7, отличающийся тем, что на внутренней поверхности корпуса имеются канавки в виде многозаходной резьбы, расположенные по длине основной и дополнительной проточных частей и выполненные аналогично канавкам на наружной поверхности ротора, при этом направление резьбы на корпусе соответствующей проточной части противоположно направлению резьбы на роторе.



Фиг. 2

RU 2168070 C2

RU 2168070 C2