

УДК 533.59

А. Н. Соколов, М. З. Щедринский, В. М. Бебяков, М. Г. Воробьев,
В. А. Синькова, К. Н. Сухарев
Филиал АО «Корпорация „Комета“» – «НПЦ ОЭКН»

Л. Н. Розанов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Исследование парциальных давлений газов в вакуумном объеме с применением многофункционального высоковакуумного откачного агрегата

В ходе проведения наземных испытаний бортовой аппаратуры космического применения возникает необходимость в создании таких условий эксплуатации, при которых технологические откачные устройства не оказывают влияния на результаты проводимых испытаний и параметры бортовой аппаратуры. В статье представлено исследование спектра масс газов внутри вакуумного объема многофункционального высоковакуумного агрегата (МВА) при вакуумной откачке различными типами высоковакуумных насосов. Приведен режим работы многофункционального высоковакуумного агрегата, при котором работа высоковакуумных насосов внутри вакуумного объема агрегата обеспечивает минимальное давление без дополнительного прогрева. Представлены графики парциальных давлений основных газов внутри вакуумного объема МВА при совместной работе различных высоковакуумных насосов. Результаты испытаний показали наиболее оптимальный режим совместной работы высоковакуумных насосов.

Высоковакуумный агрегат, парциальное давление, масс-спектрометр, наземные испытания, криовакуумная система

Наземные испытания бортовой аппаратуры космических аппаратов необходимо проводить в условиях, соответствующих эксплуатации в космическом пространстве. Космический вакуум в наземных условиях имитируется с помощью вакуумных откачных агрегатов. К задачам, возникающим при создании вакуума в наземных условиях, относится обеспечение таких условий эксплуатации, при которых технологические откачные устройства не влияют на результаты проводимых испытаний и параметры бортовой аппаратуры. Известно, что газовые нагрузки, создаваемые наземным технологическим вакуумным оборудованием, являются одной из критических составляющих вакуумных испытаний [1]. В связи с этим в данной статье исследована работа высоковакуумного откачного агрегата в части обеспечения минимального давления без дополнительного прогрева вакуумного объема.

Многофункциональный высоковакуумный откачной агрегат (МВА) был разработан для откачки криовакуумных систем космического применения при наземной экспериментальной отработке бортовой аппаратуры. Общий вид агрегата показан на рис. 1.

В отличие от наземных средств, космический вакуум откачивает все газы. В технической литературе приведены спектры масс газов для различных типов вакуумных насосов [1]. В [2] они определялись для безмасляных спиральных вакуумных насосов. В данной работе определялся спектр масс газов при совместной вакуумной откачке откачной трубы (вакуумного объема) МВА с помощью нескольких высоковакуумных насосов.

МВА включает в себя три высоковакуумных насоса: магниторазрядный, криоадсорбционный, турбомолекулярный, установленных на откачной

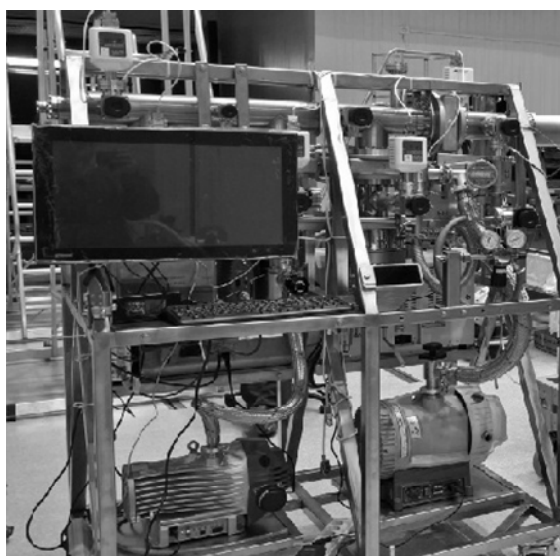


Рис. 1

трубе, и два форвакуумных насоса, размещенных на основании силовой рамы агрегата.

Турбомолекулярный насос STP-iX455 со встроенным контроллером имеет следующие характеристики: максимальное возможное давление на выходе – 67 Па; номинальная скорость вращения – 55 000 об/мин; скорость откачки – 300 л/с по азоту и 300 л/с по водороду; максимальное рабочее давление $1.3 \cdot 10^{-1}$ Па; предельное остаточное давление 10^{-8} Па.

Форвакуумный безмасляный спиральный насос nXDS10i с производительностью 3.2 л/с с входным фланцем KF25 и предельным остаточным давлением $7 \cdot 10^{-3}$ мбар применен в качестве вспомогательного для турбомолекулярного насоса.

Для откачки вакуумного объема использовался безмасляный спиральный насос nXDS35i с максимальной производительностью 44 м³/ч с входным фланцем KF40 и предельным остаточным давлением 10^{-2} мбар.

Криoadсорбционный насос со средней скоростью действия не менее 177 л/с после регенерации с прогревом до 100 °С в диапазоне давлений $1.33 \cdot 10^{-1} \dots 1.33 \cdot 10^{-3}$ Па, диапазон рабочих давлений $(-1.33 \dots 1.33) \cdot 10^{-3}$ Па.

Магниторазрядный насос Titan 200L в модификации CV имеет следующие характеристики: скорость откачки – 200 л/с, давление запуска – менее 10^{-4} мбар и предельное остаточное давление – 10^{-11} мбар.

Откачная труба представляет собой полый цилиндр с внутренним диаметром 95.6 мм и длиной 1 м, выполненный из нержавеющей стали. В качестве средств контроля вакуума в МВА при-

меняются широкодиапазонные вакуумметры СС-10 с диапазоном измерений от 1000 до 10^{-9} торр ($1.33 \cdot 10^3 \dots 1.33 \cdot 10^{-9}$ Па).

В ходе откачки высоковакуумными насосами вакуумного объема (откачной трубы) МВА контроль газов осуществлялся с помощью масс-спектрометра Extorg100M, представляющего собой квадрупольный анализатор остаточных газов, в котором установлены: встроенный электронный умножитель; интегрированный программно-аппаратный комплекс; датчик парциальных давлений – цилиндр Фарадея; низковакуумный датчик Пирани; высоковакуумный датчик Байярда-Альперта – источник ионов, открытый ионный источник, ионизация электронным ударом; двойной иридиевый катод. Extorg 100M анализирует массы в диапазоне 1...100 а. е. м. с погрешностью не более 15%. Минимальное измеряемое масс-спектрометром парциальное давление 10^{-11} торр.

Цель исследования состояла в определении оптимального режима работы МВА и парциальных давлений основных газов внутри откачной трубы при совместной работе различных высоковакуумных насосов. Под оптимальным режимом работы МВА в данной статье понимается такой, когда при работе высоковакуумных насосов внутри откачной трубы МВА будет обеспечено минимальное давление.

Испытания проводились в такой последовательности:

1) форвакуумная откачка вакуумного объема агрегата;

2) высоковакуумная откачка вакуумного объема турбомолекулярным насосом до минимального давления;

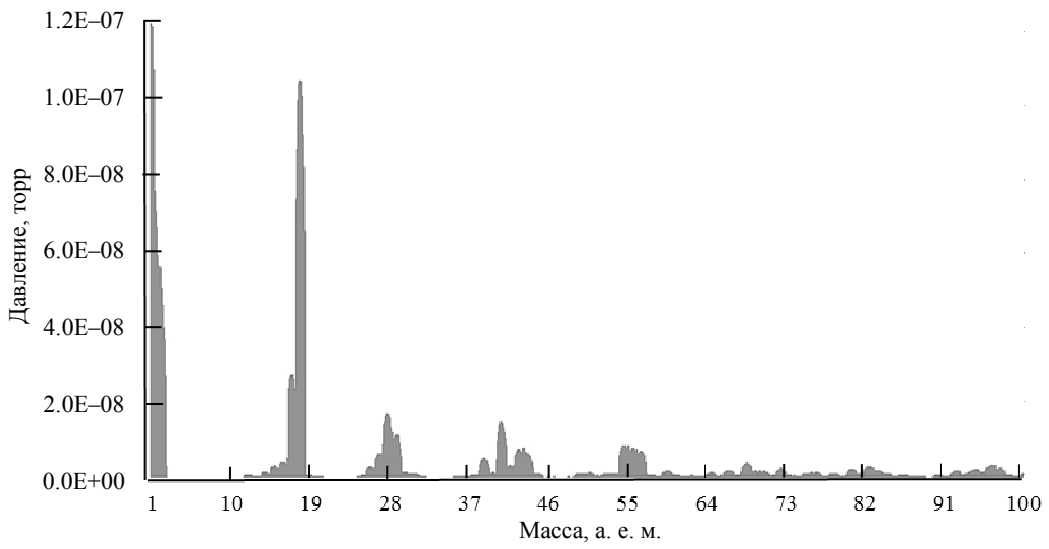


Рис. 2

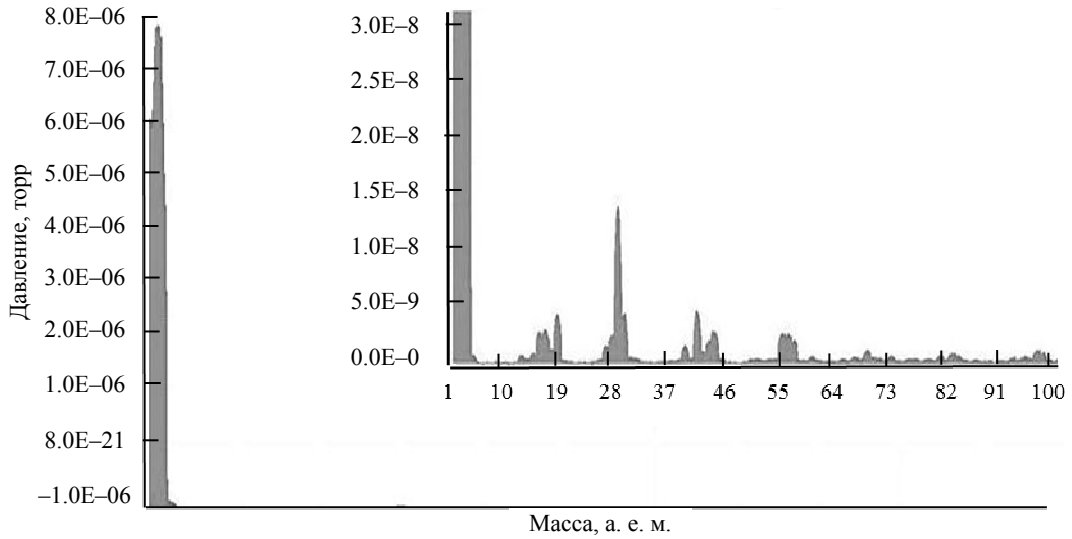


Рис. 3

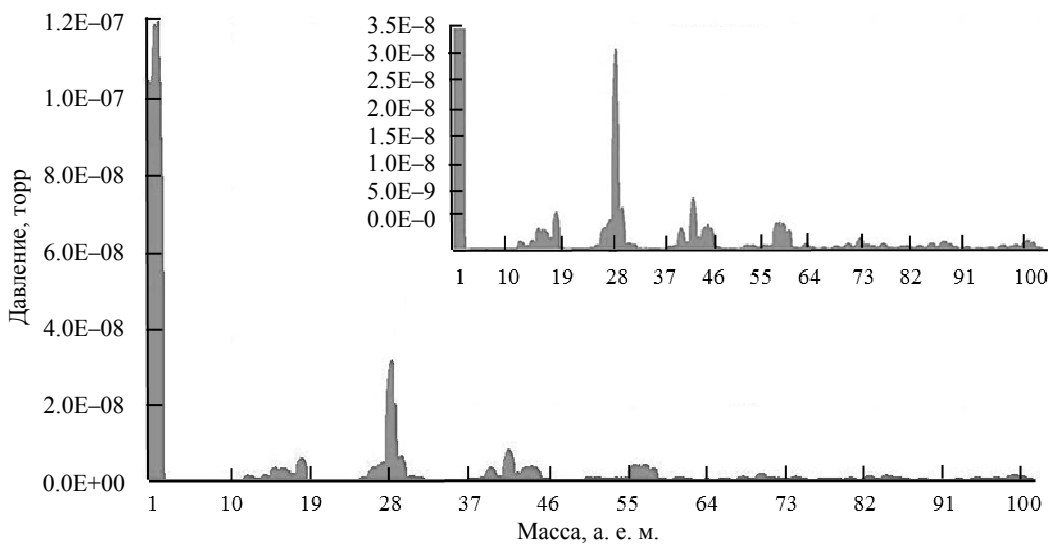


Рис. 4

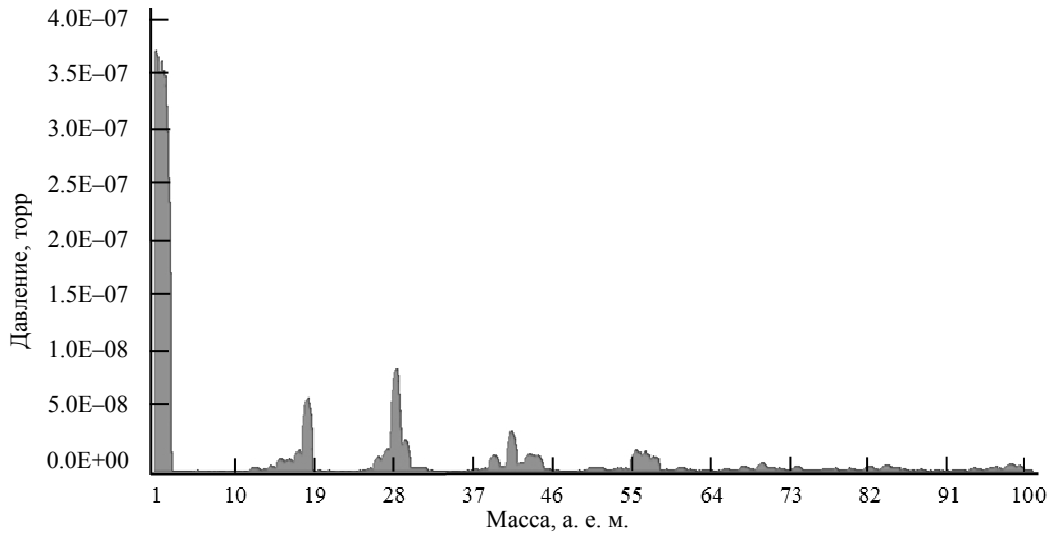


Рис. 5

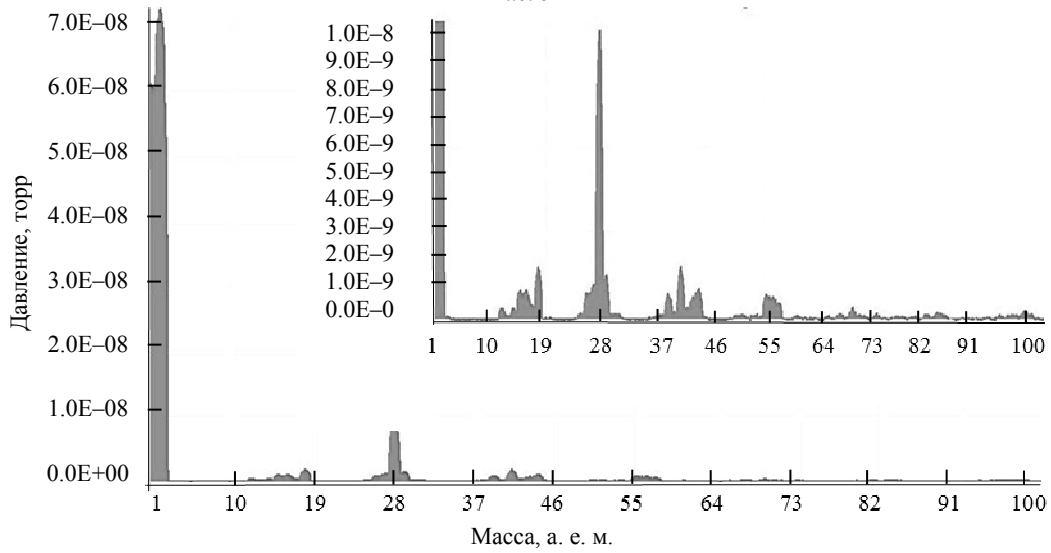


Рис. 6

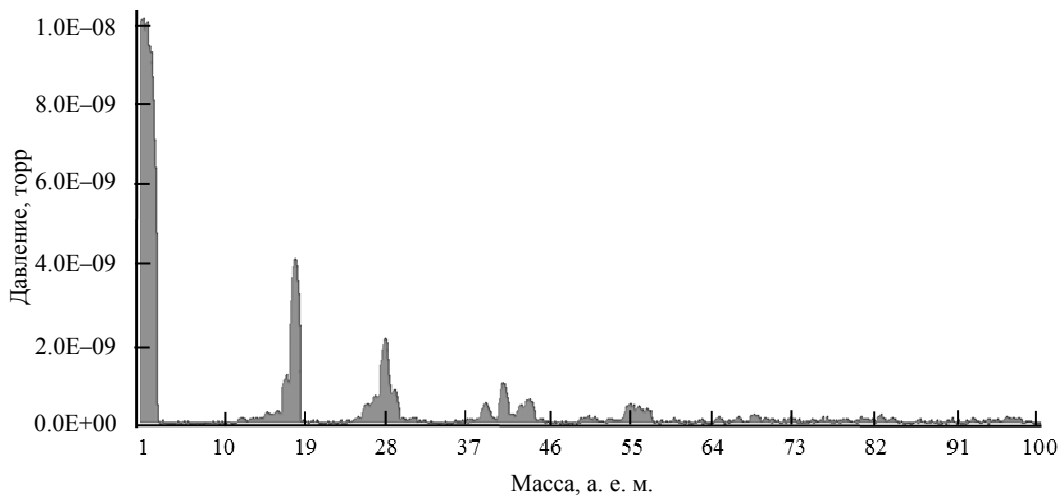


Рис. 7

3) исследования совместной работы одного или нескольких высоковакуумных насосов.

Результаты испытаний приведены на рис. 2–8, где представлены парциальные давления газов

для различных случаев функционирования высоковакуумных насосов. На рис. 2 показан спектр масс газов, полученный при откачке турбомолекулярным насосом; на рис. 3 – криоадсорбцион-

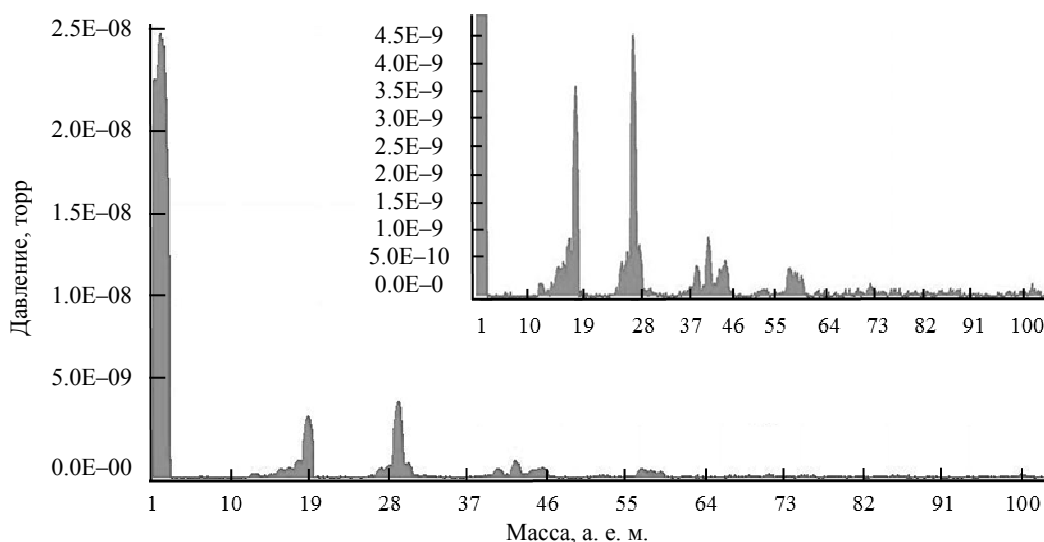


Рис. 8

Масса, а. е. м.	Парциальное давление, торр						
	T	K	M	T&M	M&K	T&K	T&M&K
1	$1.1 \cdot 10^{-7}$	$7.5 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-7}$	$3.7 \cdot 10^{-8}$	$7.2 \cdot 10^{-8}$	$1.05 \cdot 10^{-8}$	$2.5 \cdot 10^{-8}$
18	$9.5 \cdot 10^{-8}$	$5.0 \cdot 10^{-9}$	$6.0 \cdot 10^{-9}$	$7 \cdot 10^{-9}$	$1.8 \cdot 10^{-9}$	$4.2 \cdot 10^{-9}$	$3.5 \cdot 10^{-9}$
28	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$3.2 \cdot 10^{-8}$	$9 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-9}$	$4.2 \cdot 10^{-9}$
40	$1.5 \cdot 10^{-9}$	$5.0 \cdot 10^{-10}$	$2.5 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$5.0 \cdot 10^{-10}$	$5.0 \cdot 10^{-10}$
42	$1.1 \cdot 10^{-8}$	$5.0 \cdot 10^{-9}$	$8.0 \cdot 10^{-9}$	$3.0 \cdot 10^{-9}$	$2.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$
44	$4.0 \cdot 10^{-9}$	$3.0 \cdot 10^{-9}$	$3.0 \cdot 10^{-9}$	$1.3 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$5.1 \cdot 10^{-10}$	$5.1 \cdot 10^{-10}$
55	$5.0 \cdot 10^{-9}$	$3.0 \cdot 10^{-9}$	$4.0 \cdot 10^{-9}$	$1.5 \cdot 10^{-9}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$	$5.0 \cdot 10^{-10}$	$5.0 \cdot 10^{-10}$

ным насосом; на рис. 4 – магниторазрядным насосом; на рис. 5 – турбомолекулярным и магниторазрядным насосами; на рис. 6 – криоадсорбционным и магниторазрядным насосами; на рис. 7 – криоадсорбционным и турбомолекулярным насосами; на рис. 8 – криоадсорбционным, магниторазрядным и турбомолекулярным насосами;

Результаты исследований основных парциальных давлений газов внутри вакуумного объема МВА (максимальные пики масс газов при различных видах откачки) могут быть представлены в виде таблицы. Среди основных масс можно выделить следующие максимальные пики: 1, 18, 28, 42, 44, 55 а. е. м.

Примечание: буквами обозначены: T, K, M – откачка турбомолекулярным, криоадсорбционным, магниторазрядным насосами; & – совместная откачка.

Результаты проведенных экспериментов показали следующее:

1. Давление внутри откачной трубы МВА при высоком вакууме независимо от типа работающего насоса определяется парциальным давлением ионов водорода, который вносит при откачке основной вклад. Кроме того, можно отметить, что во всех случаях, независимо от типа работающего

высоковакуумного насоса, общее давление в вакуумном объеме агрегата определяется парциальным давлением трех компонентов: 1, 18, 28. Парциальные давления выше 55 а. е. м. вносят незначительный вклад в общее давление внутри вакуумного объема агрегата.

2. При откачке турбомолекулярным насосом на общее давление внутри вакуумного объема агрегата наибольшее влияние оказывают парциальные давления ионов водорода (1 а. е. м.) и паров воды (18 а. е. м.). Как видно из графиков, пары воды эффективно откачивает криоадсорбционный насос. При этом определяющим фактором общего давления внутри вакуумного объема при откачке криоадсорбционным насосом служит парциальное давление ионов водорода. Для магниторазрядного насоса после откачки паров воды криоадсорбционным насосом определяющим фактором, влияющим на общее давление внутри вакуумного объема агрегата, также является парциальное давление ионов водорода.

3. Турбомолекулярный и криоадсорбционный насосы совместно обеспечили минимальное давление внутри откачной трубы агрегата $1.1 \cdot 10^{-8}$ торр, хотя перед началом исследований предполагалось

лось, что совместная работа трех высоковакуумных насосов обеспечит наилучший вакуум.

Таким образом, при наземных испытаниях бортовой аппаратуры наиболее эффективно обес-

печивать высокий вакуум внутри криовакуумных систем, совместно используя турбомолекулярный и криоадсорбционный насосы с периодической работой магниторазрядного насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розанов Л. Н. Вакуумное технологическое оборудование: учеб. пособие // СПб.: Изд-во Политех. ун-та. 2012.

2. Стенд для исследования масс-спектра остаточного газа безмасляных вакуумных насосов и агрега-

тов / А. В. Гаврилов, С. И. Саликеев, А. В. Бурмистров, И. Ш. Гимадиев, А. Н. Свидетелев // Вестн. Казанского технол. ун-та 2014. Т. 17. С. 129-131.

A. N. Sokolov, M. Z. Schedrinsky, V. M. Bebyakov, M. G. Vorobev, V. A. Sinkova, K. N. Sukharev
Branch of JSC «Corporation „Kometa“»

L. N. Rozanov
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

STUDY OF PARTIAL PRESSURES OF GASES IN VACUUM CHAMBER USING MULTIFUNCTIONAL HIGH-VACUUM PLANT

During ground testing of onboard spacecraft equipment it is necessary to create such operating conditions, when technological pump plants don't influence the results of ongoing tests and parameters of onboard equipment. Article presents research of gas mass spectrum inside vacuum chamber, during vacuum pumping, using different types of high-vacuum plants. Operating mode of the multifunctional high-vacuum plant, which provide minimum volume inside the vacuum chamber without additional heating, is shown. Graphs of partial gas pressures for different cases of high-vacuum pumps at joint work of various high-vacuum pumps are presented. Test results show the most optimal mode of joint operation of high-vacuum plants.

High vacuum unit, partial pressure, mass-spectrometer, ground testing, cryovacuum system

УДК 534.2, 681.883

А. П. Волощенко
Южный федеральный университет

Применение гидролокатора бокового обзора для обнаружения рыболовных сетей

Рассматривается применение гидролокатора бокового обзора для борьбы с рыбным браконьерством. Незаконная добыча водных биологических ресурсов представляет серьезную угрозу экономической и экологической безопасности России. Основным орудием лова браконьеров служат рыболовные сети, которые располагаются в толще воды и плохо обнаруживаются визуальными способами с вертолета или катера. В то же время, рыболовную сеть можно легко найти с помощью гидроакустических систем. Сотрудниками Южного федерального университета и ООО «НЕЛАКС» в 2017 г. на акватории Таганрогского залива были проведены экспериментальные исследования, подтверждающие данное предположение. Приведена и описана типовая схема активного гидролокатора, объяснены принципы его работы. Описан принцип работы гидролокатора бокового обзора. Приведена схема и описан принцип получения акустического изображения гидролокатором бокового обзора. Приведена схема и описаны методы и условия проведения исследований. Приведены основные характеристики применявшегося гидролокатора бокового обзора. В качестве результатов представлены несколько акустических изображений рыболовных сетей. Оснащение гидролокаторами бокового обзора судов рыбоохраны и пограничников позволит сотрудникам этих ведомств своевременно обнаруживать и устранять браконьерские рыболовные сети. Затраты на покупку, установку и обслуживание гидролокаторов значительно меньше ущерба, наносимого браконьерами.

Активная гидролокация, боковой обзор, акустическая волна, ширина диаграммы направленности, сонограмма, зона акустической тени, эхоимпульс

Проблема браконьерства в общем виде представляет собой посягательство на экономическую

и экологическую безопасность России. Браконьерство приводит не только к значительному