

УДК 534-13

ГАЗОПОГЛОТИТЕЛИ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ГИРОСКОПОВ

В.А. Матвеев¹, Б.С. Лунин², М.А. Басараб¹, Р.А. Захарян³

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

e-mail: v.a.matveev@bmstu.ru

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: lbs@kge.msu.ru

³Тарусский филиал Института общей физики РАН им. А.М. Прохорова, г. Таруса, Калужская обл., Россия

e-mail: lbs@kge.msu.ru

Рассмотрено влияние остаточного газа на демпфирование колебаний резонаторов вибрационных гироскопов, а также свойства различных геттерных материалов и вопросы их применения для поддержания высокого вакуума в этих приборах.

В вибрационных гироскопах должно поддерживаться высокое разрежение внутри корпуса прибора, в частности, в микромеханических гироскопах, где массогабаритные характеристики малы, а зазоры составляют единицы микрометров. Ввиду малого объема корпуса и развитой поверхности внутренней структуры микромеханических гироскопов, представляется необходимым применение геттера и обеспечения в них высокого вакуума.

Рекомендовано применение нераспыляемых геттеров, использующих смеси циркония, титана, редкоземельных металлов и сплавы на их основе. Нераспыляемые геттеры имеют большую удельную сорбционную емкость и могут быть регенерированы после насыщения путем нагревания. При конструировании гироскопов целесообразно изолировать геттер от вакуумного объема прибора до завершения процессов откачки и обезгаживания, а также избегать применения материалов, которые могут выделять углеводороды (клеи, изоляции и др.).

Ключевые слова: газопоглотитель, геттер, вибрационный гироскоп, газовое трение.

GAS ABSORBERS FOR VIBRATIONAL GYROSCOPES

V.A. Matveev¹, B.S. Lunin², M.A. Basarab¹, R.A. Zakharyan³

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: v.a.matveev@bmstu.ru

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: lbs@kge.msu.ru

³Tarusa Branch of the Prokhorov General Physics Institute of RAS, Tarusa, Kaluga region, Russia

e-mail: lbs@kge.msu.ru

The effect of residual gas on oscillation damping of vibrational gyroscope resonators as well as properties of different getters and issues of their application for maintaining high vacuum in these devices are considered. In vibrational gyroscopes, a high

rarefaction must be maintained inside the device body, in particular, in micromechanical gyroscopes where the mass and overall dimensions characteristics are small and gaps amount to several micrometers. With consideration for the small volume of device body and the developed inner surface of micromechanical gyroscopes, the getter application seems to be necessary. It is recommended to apply non-evaporable getters, in which mixtures of zirconium, titanium, rare-earth metals and alloys based on them are used. Non-evaporable getters have high specific sorption capacity and can be regenerated after saturation by means of heating. While constructing gyroscopes, it is expedient to isolate getter from the vacuum volume of device till the completion of pumping and degasing as well as to avoid using materials that can emit hydrocarbons (adhesives, insulators, etc.).

Keywords: gas absorber, getter, vibrational gyroscope, friction in gases.

Остаточный газ вызывает дополнительное демпфирование колебаний резонаторов вибрационных гироскопов (ВГ) и существенно влияет на их характеристики. Газовое демпфирование, обусловленное наличием газа в корпусе ВГ, объясняется двумя причинами. Первая является обычным газовым трением — молекулы остаточного газа соударяются с колеблющимся резонатором, в результате чего возникает тормозящая сила, вызывающая потерю энергии $\zeta_{\text{газ}}$ упругих колебаний. Так, для волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) эта зависимость имеет вид [1]

$$\zeta_{\text{газ}} = \frac{p}{2\pi V f h \rho}, \quad (1)$$

где p — давление остаточного газа; f — частота колебаний резонатора; V — средняя тепловая скорость молекул газа; h — толщина стенки резонатора; ρ — плотность материала резонатора.

Оценки по (1) показывают, что влияние газового трения на добротность резонатора незначительно. Например, для полусферического резонатора из кварцевого стекла, имеющего параметры $\rho = 2,2 \cdot 10^3$ кг/м³, $h = 1$ мм, $f = 5$ кГц, $V = 500$ м/с (средняя тепловая скорость молекул азота при комнатной температуре) и $p = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па (10^{-5} мм рт. ст.), получаем $\zeta_{\text{газ}} = 3,4 \times 10^{-11}$.

Вторая причина дополнительного демпфирования колебаний связана с истечением газа сквозь зазоры между резонатором и датчиками ВГ. Этот процесс происходит с фазовым запаздыванием относительно колебаний резонатора и сопровождается необратимым превращением энергии колебаний в теплоту. Степень влияния этого процесса на характеристики резонатора зависит от конкретной конструкции гироскопа и может быть рассчитана методом конечных элементов. В качестве примера на рис. 1 приведены экспериментальные и расчетные данные, демонстрирующие влияние газового демпфирования в ВТГ, конструктивно аналогичном ВТГ Delco Electronics [2] с диаметром резонатора 60 мм, $h = 2$ мм и $f = 3600$ Гц. Зазор между резонатором и наружными корпусами составлял 100 мкм. Результаты моделирования

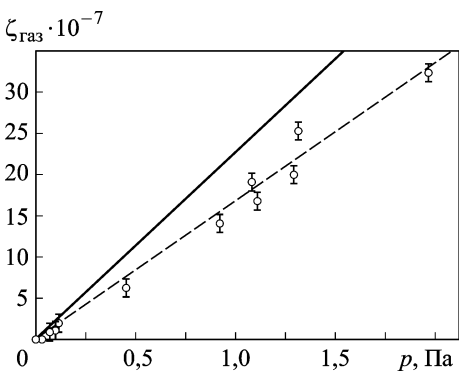


Рис. 1. Зависимость газового демпфирования от давления остаточного газа в ВТГ:

сплошная кривая — результаты конечно-элементного моделирования; штриховая — экспериментальные данные

не остаточного газа не должно превышать $3,9 \cdot 10^{-4}$ Па.

Если зазор между резонатором и внешними корпусами однороден по окружному углу ($D = \text{const}$), то влияние газового демпфирования сводится лишь к снижению добротности резонатора. Если же зазор неоднороден, то газовое демпфирование также вызывает расщепление добротности и, как следствие, систематический дрейф стоячей волны. Пусть зазор D зависит от окружного угла φ , и пусть в разложении зависимости $D(\varphi)$ в ряд Фурье четвертая гармоника этого ряда d_4 отлична от нуля:

$$D(\varphi) = d_0 + \sum_{k=1} d_k \cos k(\varphi - \varphi_k). \quad (2)$$

Тогда в резонаторе возникает расщепление добротности [3], причем ось максимальной добротности $Q_{\text{макс}}$ резонатора ориентирована под углом $\varphi_{\text{макс}} = \varphi_4 \pm \pi/2$ (в этом направлении зазор максимален и газовое демпфирование минимально), а ось минимальной добротности $Q_{\text{мин}}$ — под углом $\varphi_{\text{мин}} = \pi/4 + \varphi_4 \pm \pi/2$ (это направление соответствует минимальному зазору и соответственно максимальному газовому демпфированию). Разнодобротность резонатора приводит к появлению систематического дрейфа стоячей волны, скорость которого равна [3]

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \frac{\pi f}{4} \left(\frac{1}{Q_{\text{мин}}} - \frac{1}{Q_{\text{макс}}} \right) \sin 4(\theta - \varphi_4) = \\ &= \frac{\pi f}{4} (\zeta_{\text{макс}} - \zeta_{\text{мин}}) \sin 4(\theta - \varphi_4). \quad (3) \end{aligned}$$

Учитывая, что $d_4 \ll d_0$, в первом приближении можно полагать газовое демпфирование обратно пропорциональным зазору [4]. Тогда (3)

показывают, что при наличии таких зазоров уровень газового демпфирования возрастает примерно в 20 раз. Эти результаты позволяют оценить необходимый уровень вакуума в рассмотренном ВТГ. Пусть газовое демпфирование не должно уменьшать добротность резонатора более чем на 1% при добротности резонатора в вакууме $Q_0 = 1,5 \times 10^7$. В соответствии с графиком (см. рис. 1) $\zeta_{\text{газ}} = 1,7 \cdot 10^{-6} p$. Тогда допустимое внутреннее трение, связанное с демпфированием, составляет $\zeta_1 = 0,01 \cdot Q_0^{-1} = 6,6 \times 10^{-10}$ и, соответственно, давление

можно переписать в виде

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\pi f d_4}{2 d_0} \zeta_{\text{газ}} \sin 4(\theta - \varphi_4), \quad (4)$$

где $\zeta_{\text{газ}} = 0,5(\zeta_{\text{max}} + \zeta_{\text{min}})$.

Вместе с тем конечно-элементное моделирование газового демпфирования показывает, что зависимость $\zeta_{\text{газ}}(D)$ нелинейна. Для упомянутого ВТГ при давлении остаточного газа $3,9 \cdot 10^{-4}$ Па ($\sim 3 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.) эта зависимость приведена на рис. 2. Тогда скорость дополнительного систематического дрейфа составляет

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\pi f d_4}{2} \cdot \frac{d\zeta_{\text{газ}}}{dD} \sin 4(\theta - \varphi_4). \quad (5)$$

При этом значение производной $\frac{d\zeta_{\text{газ}}}{dD}$ вычисляется для точки $d = d_0$. Отметим, что обе формулы дают близкий результат. Выберем $d_0 = 100$ мкм и $d_4 = 1$ мкм и определим значение производной $\frac{d\zeta_{\text{газ}}}{dD}$ из графика на рис. 2. Тогда получим из (4) амплитуду скорости дополнительного систематического дрейфа $0,008$ °/ч, а (5) дает $0,0066$ °/ч. Эти оценки показывают, что вносимый газовым демпфированием систематический дрейф мал и может быть скомпенсирован калибровкой прибора. Однако при изменении давления внутри ВТГ (например, за счет газовой выделения) значение скорости дрейфа будет меняться. Поэтому, чтобы сделать влияние остаточного газа на характеристики ВТГ пренебрежимо малым, его давление понижают до уровня $1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6}$ Па путем применения внутреннего газопоглотителя (геттера) [2, 5].

Требования к атмосфере внутри корпуса ВГ с низкочастотными металлическими резонаторами гораздо ниже, чем для приборов с кварцевыми резонаторами. Если для возбуждения и измерения колебаний металлического резонатора используются пьезоэлементы, то малые зазоры снаружи резонатора отсутствуют и для расчета газового демпфирования можно использовать (1). Например, в гироскопе фирмы Innalabs [1] при добротности металлического резонатора $5 \cdot 10^4$ газовое демпфирование уменьшит ее на 1 % при давлении ~ 4 Па ($3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.). Однако такие приборы, как правило, содержат клеевые соединения, которые в течение срока службы выделяют летучие компоненты. Предположим, что прибор содержит 0,01 г клея, а содер-

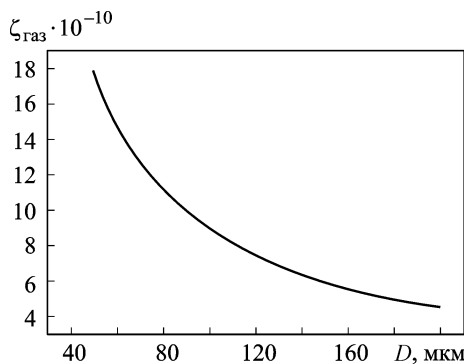


Рис. 2. Зависимость газового демпфирования от зазора в ВТГ Delco Electronics

жание летучих компонентов в клее составляет 0,1 %. Для определенности будем считать, что основной летучей примесью в клее являются молекулы воды, их число тогда равно $3 \cdot 10^{-7}$ моль. При экстракции этой примеси в течение срока службы во внутренний объем ВТГ (примем его равным 25 см^3) давление составит $\sim 30 \text{ Па}$ ($\sim 0,2 \text{ мм рт. ст.}$), что значительно превышает допустимое значение. Поэтому и в этом случае установка геттера необходима.

Достаточно высокое разрежение должно поддерживаться и в микромеханических гироскопах (МГ), так как размеры и масса резонаторов в них малы, а зазоры в большинстве случаев составляют единицы-десятки микрометров. Согласно [6], для обеспечения функционирования микромеханической колебательной системы с подвесом торсионного типа необходимо вакуумирование рабочей полости гироскопа до уровня не хуже $1,33 \text{ Па}$. Поскольку МГ имеют малый объем корпуса и развитую поверхность внутренней структуры, использование геттера представляется необходимым и в этом случае.

Рассмотрим свойства наиболее распространенных геттерных материалов и некоторые вопросы применения геттеров для обеспечения необходимого уровня вакуума в ВГ.

Геттеры представляют собой высоковакуумные насосы, основанные на свойстве некоторых веществ поглощать газы за счет сорбции или химического взаимодействия. По способу получения активной поверхности геттеры делят на две большие группы – распыляемые и нераспыляемые.

Распыляемые (испаряемые) геттеры основаны на переводе газопоглощающего вещества (обычно бария) в паровую фазу и последующей его конденсации в виде пленки. Высокая эффективность распыляемых геттеров связана с большой площадью поверхности и активностью этой пленки.

Нераспыляемые (неиспаряемые) геттеры представляют собой смесь ряда металлов (обычно Ti, Zr, Ta, Th, Nb, Cd), которые образуют активную поверхность и способны растворять свои оксиды при высокой температуре. Нераспыляемые геттеры делят на компактные (объемные) и поверхностные (пленочные). В свою очередь в каждой подгруппе существует деление по технологии изготовления (прессование, спекание в форме, плазменное напыление и т.д.).

Эффективность геттеров оценивается по ряду следующих параметров:

- константа скорости сорбции — объем газа, поглощаемый геттером, отнесенный к единице его площади или массы при рабочем давлении за единицу времени;
- удельный поток газопоглощения — количество газа, удаляемого геттером из объема, отнесенное к единице его площади или массы за единицу времени;

- сорбционная емкость — количество газа, который может поглотить геттер, отнесенное к единице его площади или массы;
- температура активации — температура, при которой происходит активирование геттера;
- предельное давление — минимальное давление, которое достигается в вакуумируемом объеме при использовании геттера.

Выбранный геттер должен иметь с одной стороны соответствующие кинетические характеристики (т.е. удельный поток газопоглощения должен превышать удельную скорость газовыделения со всех внутренних поверхностей вакуумируемого объема), а с другой — достаточную сорбционную емкость. Кроме того, геттер должен иметь по возможности низкую температуру активации и хорошую механическую прочность.

Распыляемые геттеры используются с 1930-х гг. для обеспечения вакуума в радиолампах, кинескопах и других вакуумных приборах. Обычно в качестве активной поверхности используется тонкая пленка бария, которая формируется при пиролизе сплава $BaAl_4$ либо смесей $BaAl_4-Ni$, $BaAl_4-Ni-Fe_4N$ и др. Выделяющиеся пары бария конденсируются на свободной внутренней поверхности вакуумируемого прибора, образуя пористую пленку, которая хорошо реагирует со многими активными газами — O_2 , CO , CO_2 , N_2 , H_2O , H_2 [7, 8]. Гораздо более слабая активность бария наблюдается в отношении ацетилена и этилена. Метан, этан, инертные газы с барием не реагируют.

В ВГ использование распыляемых геттеров затруднительно ввиду отсутствия в них подходящей свободной поверхности для бариевой пленки.

Нераспыляемые геттеры, использующие смеси ванадия, циркония, титана, редкоземельных металлов (РЗМ) и сплавы на их основе, получили большее распространение в современном приборостроении. Они также поглощают активные газы и некоторые углеводороды, образуя в поверхностной зоне твердые растворы оксидов, нитридов и карбидов циркония. После насыщения этой зоны геттерный материал теряет активность, однако при нагревании его до температуры 500...1000 °С эти твердые растворы диффундируют вглубь геттерного материала, восстанавливая при этом сорбционные свойства поверхности. Нагревание (активация) необходимо и перед началом использования геттера, так как открытая металлическая поверхность всегда окислена атмосферным кислородом.

Известны свойства многочисленных геттерных материалов, которые отличаются друг от друга по сорбционной способности, диапазону рабочих температур, механической прочности и другим параметрам. Составы и температуры активации некоторых из них приведены в таблице.

Составы и температуры активации некоторых нераспыляемых геттерных материалов

Состав	Торговая марка	Температура активации, °С	Ссылка
ZrAl	ST101, Циаль	900–1000	[9, 10]
Ti–Zr ₃ Al ₂	ST121	600–900	[9, 10]
Ti–Zr(V _{0,85} Fe _{0,17}) ₂	ST122	350–500	[9, 11]
Zr–C	ST171	700–1000	[9, 12]
Zr–Zr(V _{0,85} Fe _{0,17}) ₂	ST172	200–950	[9, 12]
Ti–Mo	ST175	500–750	[9]
Ti–V	ST185	500	[9]
ZrV ₂	ST197	500–800	[9, 10]
Zr ₂ Fe	ST198	600–900	[9, 10]
Zr ₂ Ni	ST199	600–900	[9, 10]
Zr(V _{0,85} Fe _{0,17}) ₂	ST707	450–500	[9, 10]
V–Zr(V _{0,85} Fe _{0,17}) ₂	ST2002	350	[9]
Ti	–	700–1200	[13, 14]
Ti–Zr–Al	СПН-3	800	[15]
Ti–Zr–Al–Ta	СПН-4	900–1000	[15]
Th–Al–PЗМ	Ceralloy-400	900–950	[16, 17]
Th–CeLaAl ₂	Ceto	900	[18]

На базе этих сплавов промышленно выпускаются различные по конструкции и характеристикам геттерные насосы (см., например, [9]), которые с успехом могут быть использованы в ВГ.

Все нераспыляемые геттеры могут быть регенерированы после насыщения. Для этого он повторно нагревается. Число регенераций зависит от структуры и состава геттерного материала и в большинстве случаев не превышает 30...40 циклов.

Выбор геттера для ВГ следует основывать на его сорбционных характеристиках, конструкции и условиях активации. Прежде всего следует оценить необходимую адсорбционную емкость геттера. Если при сборке приборов используются внутренние клеевые соединения, то необходимо рассчитать число выделившихся летучих компонентов, ориентируясь на начальную скорость газовыделения из клеевых швов. Конструктивно геттер может быть расположен, например, на крышке вакуумного корпуса с подводкой электропитания нагревателя через отдельные гермовыводы. К недостаткам такой конструкции следует отнести возможность повреждения деталей прибора при нагреве геттера до высокой температуры во время активации. Кроме того, если прибор проходит откачку и обезгаживание при повышенной температуре, то может иметь место преждевременная активация геттера и его насыщение выделяющимися газами.

Другое техническое решение связано с использованием в ВГ нерегенерируемых геттеров с высокой сорбционной емкостью. Такие гет-

теры изготавливают, активируют и устанавливают в закрытом виде [2]. Вскрытие геттера выполняется с помощью специального механизма, когда процесс откачки и обезгаживания завершен, прибор отсоединен от откачной системы и вакуумно герметичен. Это позволяет избежать преждевременного уменьшения емкости геттера при обезгаживании и разлетаания случайно отколовшихся частиц геттерного материала.

Заключение. Остаточный газ приводит к снижению добротности резонаторов ВГ и может быть причиной дополнительного систематического дрейфа, поэтому необходимо поддерживать вакуум внутри корпуса ВГ путем использования геттеров. Для ВГ наиболее подходящими являются нераспыляемые геттеры, представляющие собой смеси циркония, титана, редкоземельных металлов. Нераспыляемые геттеры имеют большую удельную сорбционную емкость и могут быть регенерированы после насыщения путем нагревания. Поскольку геттеры хорошо поглощают лишь активные газы (O_2 , CO , CO_2 , N_2 , H_2O , H_2) и плохо — углеводороды, которые являются летучими компонентами многих клеев, то при использовании клея для сборки приборов необходимо выбирать клеи с малым выделением углеводородов. Целесообразно конструктивно изолировать геттер от вакуумного объема ВГ до завершения процесса откачки и обезгаживания и вскрыть его затем специальным механизмом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев В.А., Лунин Б.С., Басараб М.А. Навигационные системы на волновых твердотельных гироскопах. М.: Физматлит. 2008.
2. Loper E.J., Lynch D.D. Vibratory rotation sensor // Patent US 4 951 508 (1990).
3. Egarkin N.E., Yurin V.E. Introduction to theory of vibratory gyroscopes. М.: Binom. 1993.
4. Loper E.J., Lynch D.D., Stevenson K.M. Projected performance of smaller hemispherical resonator gyros // Position Location and Navigation Symposium (PLANS'86), Las Vegas, 4–7 November, 1986. P. 86-160.
5. Джанджгава Г.И., Бахонин К.А., Виноградов Г.М., Требухов А.В. Бесплатформенная инерциальная навигационная система на базе твердотельного волнового гироскопа // Гироскопия и навигация. 2008. № 1. С. 22–32.
6. Кучерков С.Г. Определение необходимой степени вакуумирования рабочей полости осциллятора микромеханического гироскопа // Гироскопия и навигация. 2002. № 1. С. 52–56.
7. Verhoeven J., Doveren H. Interactions of residual gases with a barium getter film as measured by AES and XPS // J. Vac. Sci. Technol. 1982. Vol. 20, no. 1. P. 64–74.
8. Verhoeven J.A.Th., Doveren H. An XPS investigation of the interaction of CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 and C_2H_6 with a barium surface // Surface Science. 1982. Vol. 123. P. 369–383.
9. SAES Technical Product Reports // <http://www.saesgetters.com>
10. Boffito C., Ferrario B., Porta P., Rosai L. A nonevaporable low temperature activable material // Journal of Vacuum Science and Technology. 1981. Vol. 18, no. 3. P. 1117–1120.

11. *Giorgi T.A., Ferrario B., Boffito C.* High-porosity coated getter // *Journal of Vacuum Science and Technology.* 1989. Vol. 7, no. 2. P. 218–222.
12. *Ferrario B., Figini A., Borghi M.* A new generation of porous non-evaporable getters // *Vacuum.* 1985. Vol. 35, no. 1. P. 13–18.
13. *Быков Д.В., Вислоух В.Е., Глебов Г.Д., Шугалей О.И.* Низкотемпературный геттер // *Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика.* 1978. № 4. С. 43–45.
14. *Маханов В.И.* Сорбционная активность высокопористого титана // *Обзоры по электронной технике. Сер. Электроника СВЧ.* 1987. № 3. С. 58–62.
15. *Боярина М.Ф.* Сорбционные характеристики пористых нераспыляемых газоплотителей СПН // *Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ.* 1970. № 11. С. 124–132.
16. *Lichtman D., Hebling A.* Specific gas reactions of Ceralloy 400 getter // *Vacuum.* 1961. Vol. 11, no. 2. P. 109–113.
17. *Doucette E.J.* The characterization of Ceralloy 400 getter // *Vacuum.* 1961. Vol. 11, no. 2. P. 100–108.
18. *Коган В.С., Шулаев В.М.* Адсорбционно-диффузионные вакуумные насосы (вакуумные насосы с нераспыляемым геттером). Обзор. М.: ЦНИИАтоминформ. 1990.

REFERENCES

1. *Matveev V.A., Lunin B.S., Basarab M.A.* Navigatsionnye sistemy na volnovykh tverdotel'nykh giroskopakh [Navigation systems using solid-state wave gyroscopes]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 240 p.
2. *Loper E.J., Lynch D.D.* Vibratory rotation sensor. Patent US, no. 4951508, 1990.
3. *Egarmin N.E., Yurin V.E.* Introduction to theory of vibratory gyroscopes. Moscow, Binom Publ., 1993. 111 p.
4. *Loper E.J., Lynch D.D., Stevenson K.M.* Projected performance of smaller hemispherical resonator gyros. *Symp. on Position Location and Navigation*, Las Vegas, 4–7 November, 1986, pp. 86–160.
5. *Dzhandzhgava G.I., Bakhonin K.A., Vinogradov G.M., Trebukhov A.V.* Strapdown inertial navigation system based on a solid wave gyro. *Giroskopiya i Navig.* [Gyroscopy and Navig.], 2008, no. 1, pp. 22-32 (in Russ.).
6. *Kucherkov S.G.* Evaluation of the level of oscillator working cavity evacuation in a micromechanical gyroscope. *Giroskopiya i Navig.* [Gyroscopy and Navig.], 2002, no. 1, pp. 52–56 (in Russ.).
7. *Verhoeven J., Doveren H.* Interactions of residual gases with a barium getter film as measured by AES and XPS. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1982, vol. 20, no. 1, pp. 64–74.
8. *Verhoeven J.A.Th., Doveren H.* An XPS investigation of the interaction of CH₄, C₂H₂, C₂H₄ and C₂H₆ with a barium surface. *Surf. Sci.*, 1982, vol. 123, pp. 369–383.
9. *SAES Technical Product Reports.* Available at: <http://www.saesgetters.com>
10. *Boffito C., Ferrario B., Porta P., Rosai L.* A nonevaporable low temperature activable material. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1981, vol. 18, no. 3, pp. 1117–1120.
11. *Giorgi T.A., Ferrario B., Boffito C.* High-porosity coated getter. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1989, vol. 7, no. 2, pp. 218–222.
12. *Ferrario B., Figini A., Borghi M.* A new generation of porous non-evaporable getters. *Vacuum*, 1985, vol. 35, no. 1, pp. 13–18.
13. *Bykov D.V., Visloukh V.E., Glebov G.D., Shugaley O.I.* Low-temperature getter. *Vopr. At. Nauki Tekh., Ser. Obshch. Yad. Fiz.* [Probl. At. Sci. Tech., Ser. Gen. Nucl. Phys.], 1978, no. 4, pp. 43–45 (in Russ.).
14. *Makhanov V.I.* Sorption activity of highly porous titanium. *Obz. Electron. Tekh. Ser. Elektron. SVCh* [Rev. Electron. Tech. Ser. Microwave Electron.], 1987, no. 3, pp. 58–62 (in Russ.).

15. Boyarina M.F. Sorption properties of porous non-evaporable SPN getters. *Elektron. Tekh. Ser. 1. Elektron. SVCh* [Electron. Eng. Ser.1. Microwave Electron.], 1970, no. 11, pp. 124–132 (in Russ.).
16. Lichtman D., Hebling A. Specific gas reactions of Ceralloy 400 getter. *Vacuum*, 1961, vol. 11, no. 2, pp. 109–113.
17. Doucette E.J. The characterization of Ceralloy 400 getter. *Vacuum*, 1961, vol. 11, no. 2, pp. 100–108.
18. Kogan V.S., Shulaev V.M. Adsorbtsionno-diffuzionnye vakuumnnye nasosy (vakuumnnye nasosy s neraspylyaemym getterom). Obzor [Adsorption-diffusion vacuum pumps (vacuum pumps with a non-evaporable getter). Review]. Moscow, TsNIAtominform Publ., 1990. 67 p.

Статья поступила в редакцию 17.01.2013

Валерий Александрович Матвеев — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой “Информационная безопасность”, руководитель НУК ИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ и 25 патентов в области приборостроения и высокотемпературной сверхпроводимости.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

V.A. Matveev — Dr. Sci. (Eng.), professor, head of “Information Security” department of the Bauman Moscow State Technical University, chief of Scientific and Educational Complex for Information and Control of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications and 25 patents in the field of instrument engineering and high-temperature superconductivity.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.

Борис Сергеевич Лунин — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Автор ряда научных работ в области технологии вибрационных гироскопов.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы.

B.S. Lunin — Dr. Sci. (Eng.), leading researcher of the Department of Chemistry of Lomonosov Moscow State University. The author of a number of papers on vibrating gyro technology.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia.

Михаил Алексеевич Басараб — д-р техн. наук, профессор кафедры “Информационная безопасность” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ и пяти монографий в области прикладной математики, информатики, цифровой обработки сигналов, радиофизики.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

M.A. Basarab — Dr. Sci. (Eng.), professor of “Information Security” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications and five monographs in the field of applied mathematics, information technology, digital signal processing, radio-physics.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.

Роберт Артушевич Захарян — директор Тарусского филиала Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН. Автор ряда научных работ в области приборостроения и экологического мониторинга атмосферы.

Тарусский филиал Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Россия, 249100, Калужская обл., г. Таруса, ул. Энгельса, д. 6.

R.A. Zakharyan — director of the Tarusa Branch of the Prokhorov General Physics Institute of RAS. The author of a number of publications in the field of instrument engineering and ecological monitoring of atmosphere.

Tarusa Branch of the Prokhorov General Physics Institute, RAS, Tarusa, Kaluga region, 249100 Russia.