УДК 621.59:534.1:546.291

Термоиндуцированные колебания давления в криогенных системах

Д-р техн. наук Е. И. БОРЗЕНКО, В. Я. КРАСНОВ

borzenko.zav.kaf@irbt-itmo.ru Университет ИТМО 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9 Канд. техн. наук **В. А. КОСАЧЕВСКИЙ** vakos32@yandex.ru Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Как известно, термоиндуцированные колебания (ТИКД) газа в полуоткрытых трубопроводах систем хранения жидких криогенных газов и термостатирования в области криогенных температур оказывают большое влияние на надежность и экономичность их работы. Отсутствуют также общепринятые физические и математические модели возникновения и поддержания термоиндуцированных колебаний давления, надежные зависимости их частоты и амплитуды от параметров термоиндуцирующих элементов (ТИЭ) криогенных систем. Имеющиеся экспериментальные данные охватывают сравнительно узкие диапазоны параметров испытанных ТИЭ, поэтому рекомендуемые на их основе эмпирические зависимости нередко оказываются ошибочными. В настоящей работе предпринята попытка рассмотрения ТИКД с теплофизических позиций. Полученные результаты представлены в аналитическом и графическом виде. Следует заметить, что во всех зависимостях значения рассматриваемых параметров при расположении открытого холодного конца трубопровода выше границы раздела фаз (h₁ = (10±2) · 10⁻³ м), больше, чем при h₂ = −(10±2) · 10⁻³ м. На основе анализа теплофизической модели было получено авторское свидетельство № 1772513.

Ключевые слова: термоиндуцированные колебания давления, система хранения, криогенные газы, термоиндуцирующие элементы, тепловой баланс, давление криоагента, потери жидкого криоагента.

Thermo-induced variation of pressure in cryogenic systems

D. Sc. E. I. BORZENKO, V. Ya. KRASNOV borzenko.zav.kaf@irbt-itmo.ru ITMO University 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9 Ph. D. V. A. KOSACHEVSKY vakos32@yandex.ru Military space academy of A. F. Mozhaysky 197198, Russia, St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13

Thermo-induced variations of gas in half-open pipelines of liquid cryogenic gas storage and cryogenic thermostatting systems are known to influence their reliability and efficiency greatly. There are no common physical or mathematical models of occurrence and maintenance of thermo-induced pressure variations, reliable dependencies of their frequency and amplitude on the parameters of thermo inducing elements in cryogenic systems. Current experimental data cover relatively narrow ranges of parameters having been tested. Then empirical dependences being recommended on their basis are often incorrect. An attempt to consider thermo-induced variations of gas from thermophysical point of view is made. The data and graphs for the results obtained are shown. When open cold pipeline end is located higher than the phase boundary ($h_1 = (10\pm 2) \cdot 10^{-3}$ M) the values of the parameters being analyzed are higher than at $h_2 = -(10\pm 2) \cdot 10^{-3}$ M in all dependencies. The analysis is confirmed by the author's certificate Nº 1772513.

Keywords: thermo-induced pressure variations, storage system, cryogenic gas, thermo inducing element, thermal balance, cryoagent pressure, liquid cryoagent loss.

Известно, что термоиндуцированные колебания давления (ТИКД) газа в элементах систем хранения жидких криогенных газов и термостатирования в области криогенных температур оказывают большое влияние на надежность и экономичность их работы [1].

Так, теплопритоки, обусловленные ТИКД, превышают более чем на три порядка теплопритоки вдоль трубы, вследствие теплопроводности ее стенок к области низких температур [2]. По нашим данным, количество отходящих паров гелия при возникновении термоиндуцированных колебаний в трубке с внутренним диаметром 2,3·10⁻³м и длиной 1,6м приблизительно в 100 раз превышало паспортные данные серийного сосуда Дьюара СТГ-10 производства завода МЭЗГМ [4]. В настоящее время, как известно, отсутствуют общепринятые физическая и математическая модели возникновения и поддержания термоиндуцированных колебаний давления, надежные зависимости их частоты и амплитуды от параметров термоиндуцирующих элементов (ТИЭ) криогенных систем. Имеющиеся экспериментальные данные охватывают сравнительно узкие диапазоны параметров испытанных ТИЭ, поэтому рекомендуемые на их основе эмпирические зависимости при попытке использования их в более широком диапазоне нередко оказываются ошибочными. Вследствие этого попытки создания физической модели и получения зависимостей параметров ТИКД от геометрических размеров ТИЭ проводились параллельно.

Наличие двух температурных уровней и большие теплопритоки в низ-котемпературную область, обусловленные термоиндуцированными колебаниями давления, показывают целесообразность рассмотрения их с теплофизических позиций [4, 5]. Следует заметить, что поскольку масса находящегося в трубе газа M_r в системах криостатирования с использованием жидкого гелия пренебрежимо мала, по сравнению с массой окружающей среды или криоагента в аппарате, температуры последних $T_{o,c}$ и T_{ka} можно считать постоянными ($T_{o,c}$ = const; T_{ka} = const). Масса газа M_r также незначительна и по отношению к массе трубы, поэтому температура холодного T_c^w и теплого T_n^w ее участков также можно считать постоянными. Будем принимать их равными соответственно T_c и T_n .

Следовательно, реально процессы теплообмена возможны только в тех случаях, когда температура газа в холодном участке трубы T_c^r выше температуры ее стенки и криоагента ($T_c^r > T_c$), в теплом участке трубопровода соответственно $T_n^r < T_n$. В первом случае возможен отвод теплоты от газа к стенке, во втором, наоборот — подвод ее от стенки к газу.

Количество теплоты, отводимое от холодного участка, определяется следующим выражением:

$$\Delta Q_c = \alpha F_c \Delta \Theta_c \Delta \tau, \tag{1}$$

где а — коэффициент теплопередачи;

 F_{c} — площадь поверхности холодного участка трубы;

 $\Delta \Theta_c$ — средняя разность температур в холодном участке трубы;

 $\Delta \tau$ — время.

Подводимое к газу в теплом участке трубы количество теплоты ΔQ_n равно:

$$\Delta Q_n = \alpha F_n \Delta \Theta_n \Delta \tau, \qquad (2)$$

где *F*_n — площадь поверхности теплого участка трубы;

 $\Delta \Theta_{_n}$ — средняя разность температур в теплом участке трубы.

В общем случае отвод теплоты в холодном и подвод теплоты в теплом участках будут происходить одновременно. Таким образом, суммарное количество теплоты ΔQ , которое будет воздействовать на газ в полуоткрытой трубе, равняется разности абсолютных величин подводимого $|\Delta Q_n|$ и отводимого количеств теплоты $|\Delta Q_n|$:

$$\Delta Q = |\Delta Q_n| - |\Delta Q_c|. \tag{3}$$

В зависимости от абсолютных значений составляющих, входящих в правую часть выражения (3), тепловой баланс будет либо положительный, либо отрицательный. Если $\Delta Q > 0$, то внутренняя энергия газа U_r в трубе будет увеличиваться, что в свою очередь вызовет увеличение его температуры T_r и давления P_r . В случае, когда $\Delta Q < 0$, внутренняя энергия газа U_r и, следовательно, его температура T_r и давление P_r будут уменьшаться.

В низкотемпературных термоиндуцирующих системах (ТИС) возникновение ТИКД связано с образованием скачка температур вследствие охлаждения прилегающего к открытому концу участка трубы и, следовательно, уменьшения давления газа в трубе P_r , что соответствует случаю $\Delta Q < 0$. Таким образом, возникает разность давлений ΔP_s между давлениями газа P_r и криоагента $P_{\rm ka}$ в аппарате, которая будет отрицательной.

$$\Delta P_s = P_{\rm r} - P_{\rm ka}.$$
 (4)

Трубы, в которых возникают ТИКД, имеют закрытый теплый конец и, следовательно, массообмен на нем отсутствует:

$$\left(\frac{\mathrm{d}M_{\mathrm{r}}}{\mathrm{d}\tau}\right)_{x=L} = 0. \tag{5}$$

Таким образом, ТИЭ сообщаются только с криоагентом в аппарате через открытый холодный конец трубы. Следовательно, под действием возникшей разности давлений $\Delta P_{\rm s}$ часть криоагента будет поступать из аппарата через открытый конец в трубу и сжимать находящийся в ней газ и одновременно перемещать его к ее закрытому теплому концу. Действие криоагента, поступающего в трубу, подобно действию поршня: он сжимает и перемещает находящийся в трубе газ. Часть газа при этом будет перемещаться из холодного участка в теплый. Поскольку, вследствие тепловой инерции газ не может сразу принять температуру стенки трубы, эта часть газа будет иметь более низкую температуру. По мере перемещения газа из холодного участка в теплый, отвод теплоты от газа будет уменьшаться, а подвод — увеличиваться. Таким образом, вначале тепловой баланс будет нулевым, а затем станет положительным.

Сжатие газа поршнем и подвод теплоты сначала вызовут выравнивание давлений газа P_r в трубопроводе и криоагента в аппарате $P_{\rm ka}$, а затем P_r превысит $P_{\rm ka}$. Возникающая при этом разность давлений ΔP_s станет положительной: $\Delta P_s > 0$.

Действие разности давлений ΔP_s на газовый поршень в этом случае вызовет сперва уменьшение скорости его перемещения, а затем остановку и движение в обратную сторону. Это движение будет сопровождаться уменьшением давления газа Р, в трубе вследствие расширения объема газа и переходом части газа из теплого участка в холодный. Из-за тепловой инерции газ будет иметь более высокую температуру, чем стенка трубы, что вызовет отвод теплоты от него к стенке. Отвод теплоты от газа в холодном участке и его расширение вызовут понижение давления в трубе. Сначала это приведет к выравниванию давлений газа P_г и криоагента P_{ка}, а затем первое станет меньше второго. Таким образом, разность давлений между газом в трубопроводе и криоагентом в аппарате будет периодически становиться отрицательной и положительной. При этом отвод теплоты от газа производится тогда, когда давление Р_ггаза в трубе ниже, чем давление *P*_{ка} криоагента в аппарате, т. е. когда в трубе имеет место разрежение. Подвод теплоты к газу, наоборот, происходит, когда его давление выше, чем давление криоагента, т. е. когда в трубе имеет место сжатие.

Таким образом, происходящие в трубе процессы полностью соответствуют положениям критерия Рэлея: «...если теплота сообщается воздуху в момент наибольшего сжатия или отнимается от него в момент наибольшего разрежения, то это усиливает колебания...» [6].

С целью исследования параметров ТИКД в более широком диа-пазоне длин и диаметров трубопроводов и получения эмпирических зависимостей от характеристик ТИЭ были проведены эксперименты на стенде [7]. Внутренние диаметры трубопроводов *d* менялись от $1,2 \cdot 10^{-3}$ м до $9 \cdot 10^{-3}$ м, а длина от 0,75 м до 2,10 м. В результате математической обработки данных эксперимента были получены количественные и качественные зависимости параметров ТИКД и количества отходящих паров гелия от следующих соотношений:

— внутреннего диаметра d при постоянных общей длине L и отношении длин теплого l_n и холодного l_c участков трубы l_n/l_c ;

— отношения l_n/l_c испытуемого трубопровода при постоянных l_c и d.

Полученные экспериментальные данные были обработаны на ЭВМ с использованием различных вычислительных методов [8]. В результате проведенных расчетов получены зависимости параметров термоиндуцированных колебаний давления, а также потери (количество испарившегося) жидкого криоагента *M* от вышеназванных соотношений. Так как среднее давление газа в трубопроводе связано с давлением в газгольдере, в качестве одного из параметров целесообразнее рассматривать двойную амплитуду, т. е. колебание давления до крайних значений положительного и отрицательного отклонений.

Вид экспериментальной зависимости частоты *N* ТИКД от внутреннего диаметра *d* при постоянной общей его длине *L* = const = 0,9 м и отношении длин теплого l_n и холодного l_c участков трубопровода $l_n/l_c = 0,59$ показаны на рис. 1. Кривые *l* и *2* соответствуют положениям открытого холодного конца трубопровода относительно границы раздела газовой и жидкостной фаз $h_{1,2} = \pm (10\pm 2) \cdot 10^{-3}$ м. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с данными других авторов.

В результате расчетов получена следующая эмпирическая формула:

$$N(d) = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 + a_4 d^4,$$
(6)

которая хорошо аппроксимирует зависимость частоты N ТИКД от внутреннего диаметра d в диапазоне $(1,2-7,6)\cdot10^{-3}$ м. Значения коэффициентов аппроксимирующего полинома приведены ниже:

$h_1 = (10\pm 2) \cdot 10^{-3} \mathrm{m}$	$h_2 = -(10\pm 2) \cdot 10^{-3} \mathrm{M}$
$a_0 = 54,79$	$a_0 = 52,37$
$a_1 = 21,39$	$a_1 = -15,72$
$a_2 = -22,64$	$a_2 = -1,08$
$a_3 = 5,67$	$a_3 = 1,33$
$a_4 = -0,42$	$a_4 = -0,14$

Частота *N* ТИКД, по мере увеличения внутреннего диаметра *d* трубопровода, плавно уменьшается, достигая минимума в диапазоне примерно $(3,2\div3,8)\cdot10^{-3}$ м. Даль-



Рис. 1. Зависимость частоты N ТИКД от внутреннего диаметра трубы d $(l_n/l_c = const)$: 1 — открытый конец трубы выше границы раздела фаз $(h_1 = (10\pm 2)\cdot 10^{-3} M)$; 2 — открытый конец трубы ниже границы раздела фаз $(h_2 = -(10\pm 2)\cdot 10^{-3} M)$



Рис. 2. Зависимость полной амплитуды 2А ТИКД от внутреннего диаметра трубы d $(l_n/l_c = 0,540 = const): 1$ — открытый конец трубы выше границы раздела фаз $(h_1 = (10\pm 2)\cdot 10^{-3} M);$ 2 — открытый конец трубы ниже границы раздела фаз $(h_2 = -(10\pm 2)\cdot 10^{-3} M)$

нейшее увеличение внутреннего диаметра d сопровождается ростом частоты N ТИКД, достижением некоторого ее максимального значения, а затем резким снижением до нуля, т. е., фактическим исчезновением термоиндуцированных колебаний давления в трубопроводах, внутренний диаметр которых больше, чем 7,6·10⁻³ м. Заметим, что удобство представления этой зависимости аппроксимирующим многочленом четвертой степени имеет и некоторые недостатки, заключающиеся в том, что кривые lи 2 на рис. 1 получаются сглаженными. Следующим параметром термоиндуцированных колебаний давления является двойная амплитуда 2*A*, т.е., сумма абсолютных значений положительной и отрицательной амплитуд.

Зависимость величины двойной амплитуды от внутреннего диаметра *d* трубопровода показана на рис. 2.

Двойная амплитуда 2*A* при расположении открытого конца трубопровода как выше $(h_1 = (10\pm 2) \cdot 10^{-3} \text{ м})$, так и ниже $(h_2 = -(10\pm 2) \cdot 10^{-3} \text{ м})$ границы раздела фаз, первоначально растет с увеличением внутреннего диаметра *d*, достигает максимума, а затем плавно уменьшается вплоть до исчезновения ТИКД. Зависимость двойной амплитуды 2*A* ТИКД от внутреннего диаметра *d* трубопровода при $l_n/l_c = \text{const}$ аналитически может быть выражена аппроксимирующим полиномом следующего вида:

$$2A(d) = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 + a_4 d^4,$$
(7)

коэффициенты которого равны:

$h_1 = (10\pm 2) \cdot 10^{-3} \text{ M}$	$h_2 = -(10\pm 2) \cdot 10^{-3} \mathrm{m}$
$a_0 = -15,73$	$a_0 = -40,23$
$a_1 = 38,78$	$a_1 = 69,20$
$a_2 = 1,78$	$a_2 = -23,66$
$a_3 = -4,16$	$a_3 = 2,93$
$a_4 = 0,48$	$a_4 = -0,12$

Для учета влияния термоиндуцированных колебаний давления на экономические показатели криогенной системы, включающей ТИЭ и сосуд Дьюара СТГ-10, определялось количество отходящих паров криоагента. Масса отходящих паров эквивалентна количеству испарившегося криоагента, или его потерям вследствие влияния теплопритоков, обусловленных ТИКД, в криостатируемую область. Зависимость количества паров *M* от внутреннего диаметра *d* трубопровода показана на рис. 3.



Рис. 3. Зависимость массы паров жидкого Не от внутреннего диаметра трубы d (l_n/l_c≈ 0,590): 1 — открытый конец трубы выше границы раздела фаз (h₁ = (10±2) ·10⁻³м); 2 — открытый конец трубы ниже границы раздела фаз

2 — открытыи конец трубы ниже границы разоела фаз ($h_2 = -(10\pm 2) \cdot 10^{-3}$ м); 3 — испаряемость сосуда Дьюара СТГ-10 При постоянных общей длине *L* трубопровода и отношении длин теплого l_n и холодного $l_{c_{yu}}$ ($l_n/l_c \approx \text{const}$) трубопровода потери жидкого криоагента растут с увеличением внутреннего диаметра *d*, достигают максимума, а затем плавно уменьшаются. При значениях внутреннего $d > 4,4 \cdot 10^{-3}$ м потери жидкого криоагента плавно приближаются к горизонтальной асимптоте, равной паспортной испаряемости сосуда Дьюара.

Зависимость потерь жидкого криоагента M от внутреннего диаметра d трубопровода в диапазоне диаметров от $1,2\cdot10^{-3}$ м до $4,4\cdot10^{-3}$ м при l_n/l_c = const может быть представлена построенным с помощью методов аппроксимации [9] эмпирическим полиномом 5-й степени:

$$M(d) = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 + a_4 d^4 + a_5 d^5, \qquad (8)$$

где соответствующие коэффициенты равны:

$h_1 = (10\pm 2) \cdot 10^{-3} \mathrm{M}$	$h_2 = -(10\pm 2) \cdot 10^{-3} \text{ M}$
$a_0 = 0,286$	$a_0 = -0,020$
$a_1 = -0,546$	$a_1 = 0,080$
$a_2 = 0,371$	$a_2 = -0,101$
$a_3 = -0,091$	$a_3 = 0,054$
$a_4 = 0,007$	$a_4 = -0,012$
$a_5 = 0,000$	$a_5 = 0,001$

Следует заметить, что во всех зависимостях значения рассматри-ваемых параметров при расположении открытого холодного конца трубо-провода выше границы раздела фаз ($h_1 = (10\pm 2)\cdot 10^{-3}$ м), больше, чем при $h_2 = -(10\pm 2)\cdot 10^{-3}$ м.

На основе анализа теплофизической модели было получено ав-торское свидетельство № 1772513 «Устройство для наполнения сосудов жидкими криоагентами» [10].

Список литературы

1. *Keesom W. H.* Helium. Amsterdam: Elsevier. 1942. P. 174–175.

2. *Bannister J. D.* Spontaneous Pressure Oscillation in Tubes, connecting Liquid Helium Reservoirs to 300K Environments. Liquid Helium Technology. 1966, p. 127–135.

3. Краснов В. Я. Интенсивность испарения жидкого гелия в криогенных сосудах при термоиндуцированных колебаниях. 1988. Деп. в ЦИНТИхимнефтемаше 08.08.88 г. Рег. № 1877/88.

4. Краснов В. Я., Борзенко Е. И., Косачевский В. А. Теплофизическая модель термоиндуцированных колебаний давления столба газа в системах криостатирования. // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2001. — С. 18–19.

5. Краснов В. Я., Борзенко Е. И., Косачевский В. А. Термоиндуцированные колебания давления в криогенных системах. // Известия СПбГУНиПТ. 2003. № 2. С. 18–21.

6. Lord Rayleigh. The Explanation of certain acoustical phenomena. // Na-ture. 1878, vol. 16. No 6. P. 319–321.

7. Краснов В. Я., Борзенко Е. И., Новотельнов В. Н. Экспериментальное исследование термоиндуцированных колебаний в гелиевых криогенных системах. // Инженерно-физический журнал. 1991. т. 61, № 1. С. 162–163.

8. Дж. Форсайт, М. Малкольм, К. Моулер. Машинные методы математических вычислений. — М.:, Мир. 1980.

9. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. — М.:, Мир. 1982.

10. Краснов В. Я., Борзенко Е. И., Новотельнов В. Н., Крымский О. Г. АС СССР № 1772513 Устройство для наполнения сосудов жидкими криоагентами.

References

1. Keesom W. H. Helium. Amsterdam: Elsevier. 1942. P. 174–175.

2. Bannister J. D. Spontaneous Pressure Oscillation in Tubes, connecting Liquid Helium Reservoirs to 300K Environments. Liquid Helium Technology. 1966, p. 127–135.

3. Krasnov V. Ya. Intensity of evaporation of liquid helium in cryogenic tanks in case of thermoinduced oscillations. 1988. (in Russian)

4. Krasnov V. Ya., Borzenko E. I., KosachevskyV. A. Heatphysical model of thermoinduced pressure fluctuations of a pole of gas in systems of cryostatting. The low-temperature and food technologies in the XXI century. Theses of reports of the International scientific and technical conference. St. Petersburg. 2001. p. 18–19. (in Russian)

5. Krasnov V. Ya., Borzenko E. I., Kosachevskii V. A. Thermoinduced pressure fluctuations in cryogenic systems. *Izvestiya SPbGUNiPT*. 2003. No 2. p. 18–21. (in Russian)

6. Lord Rayleigh. The Explanation of certain acoustical phenomena. *Na-ture*. 1878, vol. 16. No 6. P. 319–321.

7. Krasnov V. Ya., Borzenko E. I., Novotel'nov V. N. The pilot study of thermoinduced oscillations in helium cryogenic systems. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal*. 1991. Vol. 61. No 1. p. 162–163. (in Russian)

8. Dzh. Forsait, M. Malkol'm, K. Mouler. Machine methods of mathematical computation. Moscow. 1980. (in Russian)

9. Shup T. The solution of engineering tasks on a computer. Moscow. 1982. (in Russian)

10. Krasnov V. Ya., Borzenko E. I., Novotel'nov V. N., Krymskii O. G. The copyright certificate No. 1772513 the Device for filling of tanks by liquid cryoagents. (in Russian)

Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева УДК;
- после названия статьи авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- отдельно указываются ключевые слова на русском и английском (не более десяти);
- одновременно со статьей представляется аннотация (References) на русском и английском языках. Аннотация должна содержать от 100 до 250 слов (приблизительно 700 печатных знаков). Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. В тексте следует применять значимые слова из статьи, употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.
- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи не более 12 страниц (формат А4, вертикальный, 210х297 мм; поля: левое 2 см, правое 2 см, верхнее – 2 см, нижнее - 2 см;
- иллюстрации представляются на магнитном носителе в следующем формате:растровые TIFF-CMYK-300 dpi, TIFF-BM-800 dpi, векторные - EPS-CMYK4
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation). (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab).
- в статьях необходимо использовать Международную систему единиц (СИ);
- Список использованных литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования и заключаться в квадратные скобки. <u>Количество пристатейных ссылок не менее 10-15</u>

Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.

Данные об аффилировании авторов (author affiliation).

На отдельной странице и отдельным файлом: – сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail.

Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции <u>vestnikmax@rambler.ru</u>

С аспирантов и студентов плата за публикации не взимается