

УДК 533.951

РАЗРАБОТКА КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБОПРОВОДЕ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОТОКОМ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

© 2008 Т. Б. Миронова, А. Б. Прокофьев, Е. В. Шахматов

Самарский государственный аэрокосмический университет

В статье представлена конечноэлементная математическая модель в безразмерных параметрах, описывающая динамические характеристики пространственно - криволинейного трубопровода при его силовом нагружении пульсирующим потоком рабочей жидкости. Рассмотрен частный случай решаемой задачи – вибрация трубопровода, ось которого лежит в одной плоскости, под действием стоячей волны в рабочей жидкости. Представлены результаты расчета по разработанной модели.

Трубопроводная система, динамические характеристики, пульсации рабочей жидкости, вибрация, конечно-элементная модель, колебания

Известны аналитические и численные модели, описывающие динамику трубопроводных систем при их силовом нагружении пульсирующим потоком рабочей жидкости. Однако они либо не позволяют рассчитывать трубопроводы сложной пространственной конфигурации, либо обладают значительной вычислительной трудоемкостью, что не дает возможности проводить анализ динамических характеристик трубопроводов вместе с другими агрегатами гидромеханических систем [1, 2].

Представленная работа посвящена разработке конечноэлементной модели, позволяющей рассчитывать виброакустические характеристики пространственно - сложных трубопроводных систем при их силовом нагружении пульсирующим потоком рабочей жидкости и кинематическом возбуждении со стороны присоединенных агрегатов. Данная модель позволяет проводить расчеты таких систем со значительно меньшими, чем в известных работах, временными затратами и затратами машинных ресурсов, а также может быть внедрена в современные универсальные САЕ-системы.

В данной работе методом конечных элементов была решена система уравнений, описывающая малые колебания пространственно - криволинейных трубопроводов с осевой линией, лежащей в одной плоскости, при их силовом нагружении

пульсирующим потоком рабочей жидкости [2]:

$$\left. \begin{aligned} u_2 &= \frac{1}{\chi_3} \frac{\partial u_1}{\partial \varepsilon}, \\ \chi_3^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial \tau^2} - \frac{\partial^4 u_1}{\partial \varepsilon^2 \partial \tau^2} - n w \frac{\partial^4 u_1}{\partial \varepsilon^3 \partial \tau} - n w \chi_3^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial \varepsilon \partial \tau} - \frac{\partial^6 u_1}{\partial \varepsilon^6} - (p + n w^2 + 2 \chi_3^2) \frac{\partial^4 u_1}{\partial \varepsilon^4} - \\ &- ((p + n w^2) \chi_3^2 + \chi_3^4) \frac{\partial^2 u_1}{\partial \varepsilon^2} = n w \chi_3^2 \frac{\partial w}{\partial \tau} - n w \frac{\partial w}{\partial \varepsilon}, \\ \varphi_3 &= \frac{1}{\chi_3} \frac{\partial^2 u_1}{\partial \varepsilon^2} + \chi_3 u_1. \end{aligned} \right\} (1)$$

где ε – безразмерная координата, отсчитываемая вдоль линии центров тяжести сечения трубопровода от начала отсчёта до некоторого произвольного поперечного сечения; τ – безразмерное время; $n = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$;

$m_1(s)$ – погонная масса трубопровода; $m_2(s)$ – погонная масса рабочей жидкости в трубопроводе; χ_3 – кривизна осевой линии в плоскости, перпендикулярной \bar{e}_3 ; $\bar{e}_3(s, t)$ – единичный вектор, направленный по бинормали к осевой линии трубопровода; $\bar{e}_1(s, t)$ – единичный вектор, направленный по касательной к осевой линии трубопровода; $\bar{e}_2(s, t)$ – единичный вектор, направленный по нормали к осевой линии трубопровода; l – длина трубопровода; w – вектор безразмерной скорости рабочей жидкости; p – безразмерное давление; u_1

– виброперемещение в направлении $\bar{e}_1(s, t)$; u_2 – виброперемещение в направлении $\bar{e}_2(s, t)$.

Поскольку в системе (1) единственной величиной, явно дифференцируемой по времени, является u_1 , решение целесообразно получать именно относительно этого параметра. Все остальные величины могут быть определены через найденное решение для u_1 .

Рассмотрим схему решения второго уравнения системы (1), являющегося линейным нестационарным дифференциальным уравнением. Его можно записать в общем виде [3]:

$$Lu_1 + p - \alpha \frac{du_1}{d\tau} - \beta \frac{d^2u_1}{d\tau^2} = 0, \text{ на } \Omega, \quad (2)$$

где L - линейный оператор, включающий дифференцирование только по пространственным переменным, p, α, β - заданные функции координат и времени, Ω - пространственная область.

Для решения данного уравнения применялся метод частичной дискретизации и метод взвешенных невязок [3]. Аппроксимация \hat{u}_1 для решения u_1 с помощью метода частичной дискретизации записывается в виде

$$u_1 \approx \hat{u}_1 = \sum_{m=0}^{M-1} a_m(\tau) N_m(\varepsilon), \quad (3)$$

где $N_m(\varepsilon)$ - базисные функции, не обязательно удовлетворяющие всем краевым условиям.

Аппроксимирующее уравнение по методу взвешенных невязок в общем виде записывается:

$$\int_{\Omega} W_l R_{\Omega} d\Omega + \int_{\Gamma} \bar{W}_l R_{\Gamma} d\Gamma = 0, \quad (4)$$

где $R_{\Omega} = Lu_1 + p - \alpha \frac{du_1}{d\tau} - \beta \frac{d^2u_1}{d\tau^2}$ - невязка аппроксимации по области, $R_{\Gamma} = Mu_1 + r$ - невязка аппроксимации в краевых условиях, W_l, \bar{W}_l - линейно независимые весовые функции.

Была использована аппроксимация по Галеркину, при которой вместо привлечения новой системы функций в качестве весовых множителей выбираются сами базисные функции. В качестве базисных

функций был выбран многочлен Лагранжа, обеспечивающий выполнение требования полноты системы базисных функций, позволяющей им с любой степенью точности аппроксимировать неизвестную функцию.

В уравнение (5) входит производная 6 порядка. Для получения точного решения базисные функции, входящие в аппроксимацию, должны иметь 6 порядок или выше (рис.1).

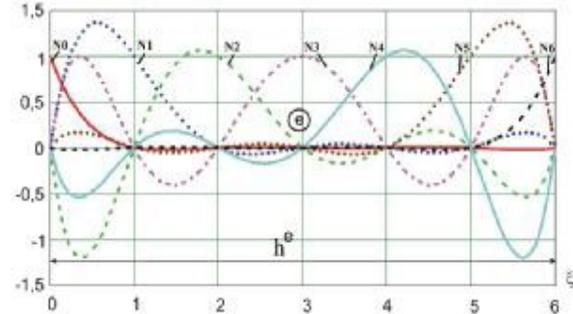


Рис. 1. Одномерный элемент и ассоциируемые с ними стандартные базисные функции шестой степени

Трение в данной модели было учтено с помощью формулы Фохта [4]. Во второе уравнение системы (1) был введен член пропорциональной первой степени скорости деформации или скорости изменения упругой восстанавливающей силы $H \frac{\partial^5 u_1}{\partial \varepsilon^4 \partial \tau}$.

Получена система дифференциальных уравнений в векторной форме:

$$[M] \left[\frac{d^2 u_1}{d\tau^2} \right] + [C] \left[\frac{du_1}{d\tau} \right] + [K] [u_1] = [f]$$

$$M_{lm} = \int_0^1 \left(\frac{d^2 N_m}{d\varepsilon^2} - \chi_{30}^2 N_m \right) N_l d\varepsilon,$$

$$C_{lm} = \int_0^1 n w \left(\frac{d^3 N_m}{d\varepsilon^3} + \chi_{30}^2 \frac{dN_m}{d\varepsilon} \right) N_l d\varepsilon - \int_{-1}^1 H \chi_{30}^2 N_m N_l d\varepsilon, \quad (5)$$

$$K_{lm} = \int_0^1 \left(\frac{d^6 N_m}{d\varepsilon^6} + (2\chi_{30}^2 + p + n w^2) \frac{d^4 N_m}{d\varepsilon^4} + (\chi_{30}^2 + p + n w^2) \chi_{30}^2 \frac{d^2 N_m}{d\varepsilon^2} \right) N_l d\varepsilon,$$

$$f_l = \int_0^1 n \chi_{30}^2 \left(\frac{\partial w}{\partial \tau} - w \frac{\partial w}{\partial \varepsilon} \right) N_l d\varepsilon.$$

Данная система уравнений решалась методом базисных функций. Для представления временной области, которая считается продолжающейся до бесконечности, используются конечные элементы. Условия на конце первого элемента определяются с помощью дифференциального уравнения и начальных данных. Затем этот процесс по-

вторяется для последующих элементов с использованием вновь вычисленной информации в качестве начальных данных для каждого очередного элемента.

Разобьем временную область на линейные элементы, как показано на рис.2.

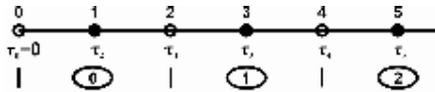


Рис. 2. Разбиение временной области на квадратичные конечные элементы:
 • - внутренние узлы элементов,
 ○ - граничные узлы элементов

$$a \approx \hat{a} = \sum_{m=1}^{\infty} a_m N_m(\tau) \quad (6)$$

Возьмем типичный квадратичный элемент n по времени с тремя узлами, помещенный в точки $\tau_{2n}, \tau_{2n+1}, \tau_{2n+2}$ (рис. 2, 3). Базисные функции $N_m(\tau)$ должны иметь степень не ниже второй, так как в уравнения (5) входят вторые производные по времени.

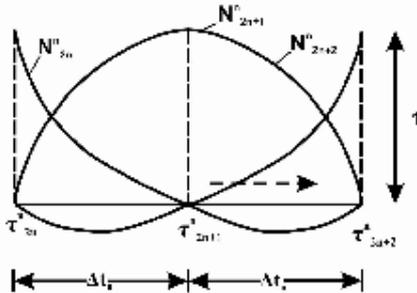


Рис.3. Базисные функции элемента n

На этом элементе n имеем

$$\hat{a} = a^{2n} N_{2n}^n + a^{2n+1} N_{2n+1}^n + a^{2n+2} N_{2n+2}^n \quad (7)$$

Здесь

$$N_{2n}^n = \frac{-T(1-T)}{2}; \quad \frac{dN_{2n}^n}{d\tau} = \frac{-1/2+T}{\Delta\tau_n}; \quad \frac{d^2 N_{2n}^n}{d\tau^2} = \frac{1}{\Delta\tau_n^2}$$

$$N_{2n+1}^n = 1-T^2; \quad \frac{dN_{2n+1}^n}{d\tau} = -\frac{2T}{\Delta\tau_n}; \quad \frac{d^2 N_{2n+1}^n}{d\tau^2} = -\frac{2}{\Delta\tau_n^2}$$

$$N_{2n+2}^n = \frac{T(1+T)}{2}; \quad \frac{dN_{2n+2}^n}{d\tau} = \frac{1/2+T}{\Delta\tau_n}; \quad \frac{d^2 N_{2n+2}^n}{d\tau^2} = \frac{1}{\Delta\tau_n^2}$$

$$T = \frac{t-t_{2n+1}}{\Delta\tau_n}; \quad \Delta\tau_n = \tau_{2n+2} - \tau_{2n+1}; \quad \Delta\tau_n = \tau_{2n+1} - \tau_{2n}$$

Применение к уравнению второго порядка (5) стандартного метода взвешенных невязок дает

$$\int_{\tau_{2n}}^{\tau_{2n+2}} \left(M \frac{d^2 \hat{a}}{d\tau^2} + C \frac{d\hat{a}}{d\tau} + K\hat{a} - f \right) W_n d\tau = 0$$

$n = 0, 1, 2, \dots$

Здесь интегрирование производится только по элементу n , поэтому в полученном выражении можно подставить для \hat{a} значение (7). Учитывая, что матрицы C и K зависят от времени. Тогда в силу (14) уравнение метода взвешенных невязок после соответствующих преобразований принимает вид

$$\begin{aligned} & \left[M + \gamma \Delta t_n C(\Delta t_n) + \beta \Delta t_n^2 K(\Delta t_n) \right] u_1^{2n+2} + \\ & + [-2M + (1 - 2\gamma) \Delta t_n C(\Delta t_n) + \\ & + (1/2 - 2\beta + \gamma) \Delta t_n^2 K(\Delta t_n)] u_1^{2n+1} + \\ & + [M - (1 - \gamma) \Delta t_n C(\Delta t_n) + \\ & + (1/2 + \beta - \gamma) \Delta t_n^2 K(\Delta t_n)] u_1^{2n} = f^n \Delta t_n^2, \end{aligned}$$

где β и γ коэффициенты, соответствующие весовым функциям различных видов, Δt - шаг дискретизации по времени.

Рассмотрим частный случай краевых условий – жесткую заделку концов трубопровода. В этом случае при $\varepsilon = 0$ и $\varepsilon = 1$ $u_1 = u_2 = 0$. Тогда из первого уравнения системы (1) следует, что $\frac{\partial u_1}{\partial \varepsilon} = 0$, а из

третьего уравнения $\frac{\partial^2 u_1}{\partial \varepsilon^2} = 0$. Опустим индекс 1 у параметра u . Для рассматриваемой конечноэлементной модели граничные условия можно записать в виде

$$\begin{aligned} & \sum_{m=0}^{M-1} U_m = 0, \\ & \sum_{m=0}^{M-1} \frac{\partial U_m}{\partial \varepsilon} = 0 \quad \text{при } \varepsilon = 0 \text{ и } \varepsilon = 1, \\ & \sum_{m=0}^{M-1} \frac{\partial^2 U_m}{\partial \varepsilon^2} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Распишем последние два уравнения системы (8), подставив в них аппроксимацию (3). Учитывая, что перемещение в узлах на границе a_0 и a_6 , а также базисные функции N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 в граничных точках равны нулю $a_0 = 0$ и $a_6 = 0$, получим

$$\begin{aligned} & a_1 \frac{\partial N_1(0)}{\partial \varepsilon} + a_2 \frac{\partial N_2(0)}{\partial \varepsilon} + a_3 \frac{\partial N_3(0)}{\partial \varepsilon} + a_4 \frac{\partial N_4(0)}{\partial \varepsilon} + a_5 \frac{\partial N_5(0)}{\partial \varepsilon} = 0, \\ & a_1 \frac{\partial N_1(1)}{\partial \varepsilon} + a_2 \frac{\partial N_2(1)}{\partial \varepsilon} + a_3 \frac{\partial N_3(1)}{\partial \varepsilon} + a_4 \frac{\partial N_4(1)}{\partial \varepsilon} + a_5 \frac{\partial N_5(1)}{\partial \varepsilon} = 0, \\ & a_1 \frac{\partial^2 N_1(0)}{\partial \varepsilon^2} + a_2 \frac{\partial^2 N_2(0)}{\partial \varepsilon^2} + a_3 \frac{\partial^2 N_3(0)}{\partial \varepsilon^2} + a_4 \frac{\partial^2 N_4(0)}{\partial \varepsilon^2} + a_5 \frac{\partial^2 N_5(0)}{\partial \varepsilon^2} = 0, \\ & a_1 \frac{\partial^2 N_1(1)}{\partial \varepsilon^2} + a_2 \frac{\partial^2 N_2(1)}{\partial \varepsilon^2} + a_3 \frac{\partial^2 N_3(1)}{\partial \varepsilon^2} + \\ & + a_4 \frac{\partial^2 N_4(1)}{\partial \varepsilon^2} + a_5 \frac{\partial^2 N_5(1)}{\partial \varepsilon^2} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, имеем 4 уравнения и 5 неизвестных величин: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 . Значение a_3 находим из уравнения (5), которое для случая одного элемента можно записать в виде

$$[M_{33}] \left[\frac{d^2 U_3}{d\tau^2} \right] + [C_{33}] \left[\frac{dU_3}{d\tau} \right] + [K_{33}] [U_3] = [f_3].$$

Необходимо отметить, что изменение граничных условий не приводит к перестройке конечноэлементной схемы решения. Выражения (5) для внутренних узлов элемента остаются прежними. Изменяется только вид уравнений системы (9), описывающих граничные условия. Это приводит к уменьшению трудоемкости получения результатов расчета.

В качестве модельного примера возьмем трубопровод со следующими параметрами: $l=0,3$ м; $d=0,003$ м; $\delta=0,0006$ м; $\rho=7800$ кг/м³, $E=2 \cdot 10^{11}$ Па; $R=0,4$ м, где d - наружный диаметр трубопровода, δ - толщина стенки трубопровода, R - радиус кривизны.

Трубопровод нагружается установившимися колебаниями рабочей жидкости, в которой реализуется стоячая волна с параметрами $f=150$ Гц, $p_{вх}=2 \cdot 10^5$ Па. Характеристики рабочей жидкости: $\rho_{жс}=870$ кг/м³, $c=1300$ м/с.

При проведении расчётов возьмем один семиузловой элемент и постоянный шаг дискретизации по времени

$$\Delta t = \frac{1}{100}.$$

Начальные данные в рассматриваемой трехслойной схеме задаются в виде:

$$a(\tau = 0) = a^0 = 0, \quad \frac{da}{dt}(\tau = 0) = 0 \quad (10)$$

Выбраны следующие значения: $\beta = \frac{1}{4}$ и $\gamma = \frac{1}{2}$. При таких значениях схема является безусловно устойчивой и не дает искусственного числового затухания.

Результаты расчетов по разработанной модели представлены на рис.4,5. Рис. 4,а соответствует системе без трения, в которой наряду с установившимися вынужденными колебаниями реализуются незатухающие свободные колебания.

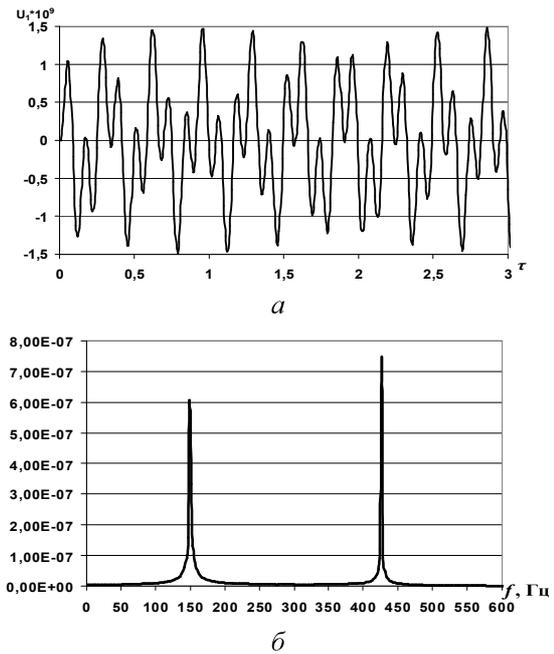


Рис. 4. Временная реализация (а) и амплитудный спектр (б) безразмерного нормального виброремещения во 2 узле ($\epsilon = 0,667$ при величине параметра трения $H = 0$)

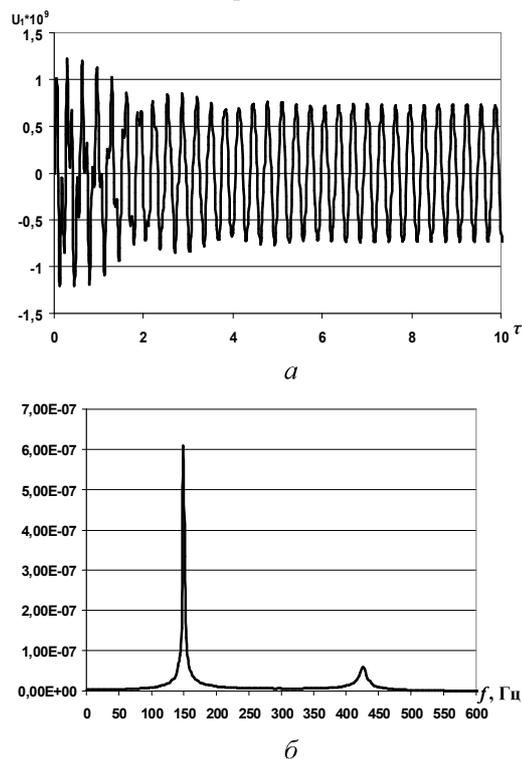


Рис. 5. Временная реализация (а) и амплитудный спектр (б) безразмерного нормального виброремещения во 2 узле $\epsilon = 0,667$ при величине параметра трения $H = 0,02$

На амплитудных спектрах явно видны два пика – 150 Гц и 425 Гц, первый из которых соответствует вынужденным коле-

баниям, а второй – собственным колебаниям по первой собственной форме.

Введение в систему трения приводит к затуханию свободных колебаний (рис. 5). С течением времени расчётная временная реализация вибро смещения переходит в синусоиду с частотой пульсаций давления. При этом чем больше H , тем быстрее затухают свободные колебания и тем быстрее на временной реализации устанавливается гармонический процесс колебаний.

Библиографический список

1. Макарьянц Г. М., Прокофьев А. Б., Шахматов Е. В., Шестаков Г. В. Исследование виброакустических характеристик трубопровода при его силовом нагружении с использованием программного комплекса ANSYS // Сборник трудов четвертой конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH. – М.: Полигон-пресс, 2004. – С. 280-287.
2. Прокофьев А.Б. Разработка метода комплексного анализа динамики и прочности трубопроводных систем с гасителями

колебаний рабочей жидкости. Дисс. на соиск... д.т.н. – Самара: СГАУ, 2008. – 191 с.

3. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация - М.: Мир, 1986. - 318 с.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Дрофа, 2004. – 591 с.

References

1. Makariyanz G. M., Prokofiev A.B., Shachmatov E. V., Shestakov G. V. Development of vibroacoustical characteristics of pipe system under force excitation with use of software ANSYS// The proceedings of the fourth conference of software CAD-FEM GmbH users. – M: Poligon-press, 2004. – p. 280-287.
2. Prokofiev A.B. Method of the complex analysis of dynamics and durability of pipeline systems with hydraulic dampers. The dissertation of DT.Tech.Sci. – Samara, SSAU, 2008. – 191 p.
3. Zienkiewicz O. C, Morgan K.. Finite elements and approximation - M.: Mir, 1986. – 318 p.
4. Babakov I.M. Theory of oscillation. – M.: Drofa, 2004. – 591 p.

DEVELOPMENT OF THE FINITE ELEMENT MODEL OF VIBROACOUSTICAL CHARACTERISTICS OF PIPE SYSTEM

© 2008 T. B. Mironova, A. B. Prokofiev, E. V. Shachmatov

Samara State Aerospace University

The finite element mathematical model of dynamic characteristics of pipe system is developed. The model allows calculations of pipe characteristics under force excitation by oscillating fluid flow, including unsteady conditions. The pipe system can be of complex configuration. Results of calculation on the developed model are presented..

Pipeline system, dynamic characteristic, fluid power, vibration, finite element model, fluctuation

Информация об авторах

Миронова Татьяна Борисовна, аспирант кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: mirtb@rambler.ru. Тел. 267-46-63. Область научных интересов: динамика трубопроводных систем, виброакустическое взаимодействие в элементах машин, активные методы подавления шума и вибрации элементов машин.

Прокофьев Андрей Брониславович, доктор технических наук, доцент кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: upnk@ssau.ru. Тел. 267-48-70. Область научных интересов: динамика трубопроводных систем, виброакустика, расчёт и проектирование корректирующих устройств для пневмогидросистем, активные методы подавления шума и вибрации элементов машин.

Шахматов Евгений Владимирович доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: shakhm@ssau.ru. Тел. 267-43-04. Область научных интересов: динамика пневмо- и гидросистем систем, виброакустика машин.

Mironova Tatiana Borisovna, post-graduate student, Samara State Aerospace University, Department «Automatic systems of power plant». E-mail: mirtb@rambler.ru. Tel. 267-46-63. Area of research: dynamics of pipe system, vibroacoustic interaction of machine elements, active noise control.

Prokofiev Andrei Bronislavovich, senior lecturer, doctor of the technical sciences, Samara State Aerospace University, department «Automatic systems of power plant». E-mail: upnk@ssau.ru. Tel. 267-48-70. Area of research: dynamics of pipe system, vibroacoustic, design of fluid pressure pulsation damper, active noise control.

Shachmatov Evgenii Vladimirovich, professor, doctor of the technical sciences, Samara State Aerospace University, Department «Automatic systems of power plant», E-mail: shakhm@ssau.ru. Tel. 267-43-04. Area of research: dynamics of hydraulic and pneumatic system, vibroacoustic of machine.

ВЕСТНИК
САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени академика С. П. КОРОЛЁВА

№ 3 (16)

2008

Корректор **Карпова Л. М.**
Компьютерная вёрстка **Паровой Ф. В., Холодкова Г. В.**

Каталожная цена: 500 руб.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Тираж 200. Заказ 30.

Отпечатано в ООО «ЦСП»
443110, Самара, ул. Осипенко, 126/4, офис 6

**Правила оформления статей для журнала
«Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета
имени академика С. П. Королёва»**

1. Статья представляется в двух экземплярах, распечатанных на лазерном принтере на одной стороне бумаги в режиме качественной печати, а также в электронном виде на отдельном носителе ответственному секретарю редакционной коллегии журнала Прохорову Александру Георгиевичу по адресу: 443086, Самара, Московское шоссе, 34, 212а – 3А, тел.: (846) 267 48 41, электронная почта: vest@ssau.ru.

2. Текст статьи представляется в формате Microsoft Word на дискетах, CD или DVD. Объём статьи - до 10 страниц формата А4. Имя файла определяется по фамилии первого автора: фамилия.doc. Поля - по 2 см с каждой стороны, текст - кегль 12, одинарный междустрочный интервал. Выравнивание: по ширине страницы. Шрифты - Times New Roman, Symbol. Отступ первой строки абзаца - 1 см. Страницы должны быть пронумерованы.

Замена буквы «ё» на букву «е» недопустима. Написание в тексте буквы «ё» является обязательным.

3. Допускается наличие рисунков, формул и таблиц по тексту.

Рисунки могут быть созданы средствами Microsoft Word/Excel или в форматах JPEG, GIF, TIFF, PNG. Подпись к рисунку начинается со слова «Рис.» и номера по порядку, подпись располагается снизу, выравнивание – по центру. Для ссылки по тексту статьи на рисунок 1 следует использовать сокращение: рис. 1.

Для математических выражений и формул следует использовать Microsoft Equation 3.0 и буквы латинского (*Times New Roman, курсив, размер 12*) и греческого (*Symbol, курсив, размер 12*) алфавитов. Формулы, на которые в статье делаются ссылки, следует печатать с новой строки, при этом формулы нумеруются в порядке следования по тексту статьи. Номер формулы и ссылка на неё в тексте обозначается числом в круглых скобках: (1), (2), (3). Длина формулы на строке строго ограничена – до 80 мм (допускается перенос на следующие строки).

Заголовок таблицы начинается со слова «Таблица» и её номера по порядку, заголовок размещается сверху, выравнивание – по левому краю. Для ссылки по тексту статьи на таблицу 1 следует использовать сокращение: табл. 1.

4. Библиографический список оформляется отдельным разделом в конце статьи, при этом литературные источники располагаются в порядке их использования по тексту статьи в виде нумерованного списка, и оформляется в соответствии с действующим ГОСТ.

5. К тексту статьи прилагается направление организации (если авторы не являются сотрудниками СГАУ), рецензия специалиста по научному направлению статьи (не являющегося сотрудником подразделения, где работают авторы), акт экспертизы, информация об авторах для опубликования в журнале. На отдельной странице указываются сведения об авторах для служебного пользования: фамилия, имя, отчество, должность, учёная степень, учёное звание, место работы, служебный и домашний адреса, телефон, электронная почта. Статья должна быть подписана всеми авторами.

6. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и сопроводительные документы не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

7. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Образец оформления

УДК 536.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ЗАМКНУТОЙ СТРУКТУРЫ НА БОРТУ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

© 2006 Г. П. Аншаков¹, В. В. Бирюк², В. В. Васильев², В. В. Никонов², В. В. Салмин²

¹ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»

²Самарский государственный аэрокосмический университет

(аннотация статьи объёмом 50...150 слов, кегль: 10)

(ключевые слова объёмом 8-12 слов, кегль: 10, начертание: курсив)

(текст статьи)

(библиографический список)

(информация об авторах для опубликования: фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание, должность, место работы, электронная почта, область научных интересов - до 10 слов)

THERMAL FIELDS SIMULATING OF COMPLEX CLOSED STRUCTURE ABOARD RESEARCH SPACE LABORATORY

© 2006 G. P. Anshakov¹, V. V. Biruk², V. V. Vasiliev², V. V. Nikonov², V. V. Salmin²

¹«Progress» Design Bureau

²Samara State Aerospace University

(аннотация статьи - на английском языке)

(ключевые слова - на английском языке)

(библиографический список - на английском языке)

(информация об авторах - на английском языке)

