

## МЕТОД РАСЧЕТА КОНТАКТНОЙ НАГРУЗКИ В СОЕДИНЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ С С-ОБРАЗНЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРУЕМЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

*А. А. БОЙКОВ, Е. В. СЕРПИЧЕВА, С. В. ШИШКИН*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Совершенствование конструкций авиационно-космической техники связано с жёстким ограничением их материалоёмкости, минимизацией запасов прочности элементов агрегатов при одновременном улучшении технико-энергетических характеристик гидropневмотопливных агрегатов, которое обуславливается повышением давлений и расхода рабочих сред, расширением температурного диапазона и в значительной мере ограничивается надёжностью изоляции сред, степенью герметичности оборудования. Изоляция сред достигается герметизируемыми соединениями (ГС) различного вида, которые относятся к числу основных элементов и агрегатов гидравлических, пневматических, топливных и других систем, определяющих общий уровень надёжности летательного аппарата (ЛА).

Работоспособность и эксплуатационная безопасность целого ряда изделий определяется герметичностью их узлов, агрегатов, соединений. До настоящего времени проблема обеспечения надёжности герметизируемых узлов решалась проведением многочисленных испытаний на герметичность на всех этапах создания и доводки нового изделия, как стендовых – на имитаторах и образцах, так и натурных – при возможно более полном моделировании всех эксплуатационных нагрузок. Естественно, что такой подход связан с огромной трудоёмкостью исследований и большими капитальными затратами и совершенно неприемлем на современном этапе.

Проведено исследование применимости метода расчёта контактной нагрузки на уплотняемом стыке с С-образным уплотнением методом дискретного решения системы интегральных уравнений Фредгольма. Получены характерные зависимости и доказана правомерность выбранных допущений при расчёте контактной нагрузки в случае наличия областей пластической деформации во фланце. Расчёт контактной нагрузки на уплотняемом стыке рассмотрен как основная часть расчёта соединения на герметичность.

В данной работе проведено исследование применимости метода расчёта контактной нагрузки на уплотняемом стыке с С-образным уплотнением с применением системы интегральных уравнений Фредгольма. Получены характерные зависимости и доказана правомерность выбранных допущений при расчёте контактной нагрузки в случае наличия областей пластической деформации во фланце. Расчёт контактной нагрузки на уплотняемом стыке рассмотрен как основная часть расчёта соединения на герметичность.

Разработка методов расчёта на герметичность позволяет заменить все промежуточные и ряд узловых испытаний изучением поведения виртуальной модели уплотняемого стыка при воздействии конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

UDC 62.752, 621:534;833; 888.6, 629.4.015;02

## FEATURES ESTIMATION OF FORCE PARAMETERS IN DYNAMIC INTERACTIONS OF ELEMENTS OF MECHANICAL OSCILLATION SYSTEMS

*R. S. BOLSHAKOV, A. V. DIMOV, S. V. ELISEEV, A. V. ELISEEV*

*Irkutsk State Transport University, Russian Federation*

In solving the problems of the dynamics of machines and equipment under the influence of vibratory external influences, in particular, in problems of vibration protection, the coordinates of objects whose frequency dependences are revealed in the frequency characteristics of the system are usually used as parameters of the dynamic state [1–3]. At the same time, the notion of dynamic reactions of constraints arising at the points of connection of the elementary links of the system with each other, as well as at points of contact with supporting surfaces and the object of protection, are of great importance [4, 5].

To a lesser extent, the properties of the reactions of constraints arising at points of contact or connections of elements of a mechanical system with each other are studied. Of particular importance, in this respect, is the estimation of the values of dynamic reactions at characteristic points of the system that determine the reliability and safety of the system as a whole. In this sense, the value of constraint reactions can be considered as parameters of the dynamic state, as well as coordinates, velocities and accelerations of the movement of the protection object.

In the present article, the features of the formation of constraint reactions in linear mechanical oscillatory systems with two degrees of freedom under the action of harmonic external perturbations in the concepts of use of reactions as parameters of the dynamic state of the system are considered.

### I. General provisions. Peculiarities of the research problem formulation.

The generalized computational scheme for solving the problems of the dynamics of objects in systems with two degrees of freedom is presented in figure 1, a. In addition to the concentrated masses  $m_1$  and  $m_2$ , the system contains elastic elements with stiffness coefficients  $k_1, k_2, k_3$ . The system has two support surfaces I and II, which can perform harmonic motions  $z_1, z_2$ . The motion of the system is considered in the fixed basis using the coordinates  $y_1$  and  $y_2$ . At the contact points (pp. A-B), restraining (or bilateral) constraints are assumed [6]. The equation of motion of the system under the kinematic perturbation ( $Q_1 = 0, Q_2 = 0$ ) has the form of

$$m_1 \ddot{y}_1 + y_1(k_1 + k_2) - k_2 y_2 = k_1 z_1(t) + Q_1(t), \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + y_2(k_2 + k_3) - k_2 y_1 = k_3 z_2(t) + Q_2(t). \quad (2)$$

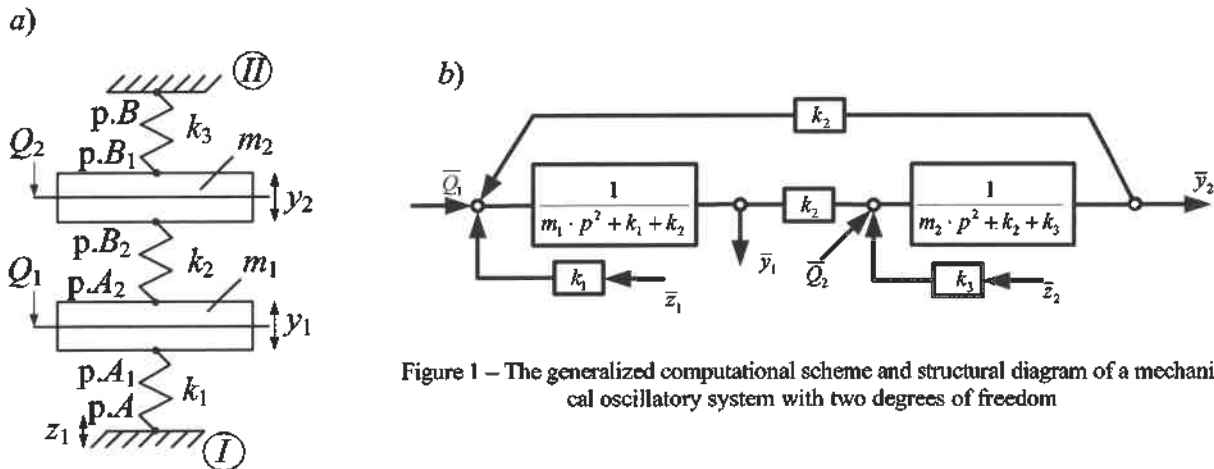


Figure 1 – The generalized computational scheme and structural diagram of a mechanical oscillatory system with two degrees of freedom

Construction of the structural diagram (figure 1, b) requires getting of equations (1), (2) in Laplace transformation [4, 5] what is needed to determine dynamic reactions.

### II. Determining dynamic reactions of constraints at characteristic points (pp. A-B).

The calculation scheme in figure 1, b is considered; these schemes are equivalent. All the relations are written in the operator form ( $\bar{y}_1, \bar{y}_2$ ).

After transformations of the original expressions the dynamic reaction at the protection object, that is, in the mass-and-inertia element  $m_1$ , is determined by summing the reactions at points  $A_1$  and  $A_2$ .

Thus,

$$\bar{R}_m(p) = \bar{R}_{A_1} + \bar{R}_{A_2} = \frac{k_1 \bar{z}_1 [k_1(m_2 p^2 + k_2 + k_3) + k_2(m_2 p^2 + k_3)]}{A_0}$$

or

$$\bar{R}_m(p) = \frac{k_1(k_1 + k_2)m_2 p^2 + k_1^2(k_2 + k_3) + k_1 k_2 k_3}{A_0} \bar{z}_1. \quad (3)$$

The total dynamic reaction  $\bar{R}_{m_2}(p)$  formed on the mass-and-inertia element  $m_2$  is determined as the sum of two dynamic reactions  $\bar{R}_{B_1}$  and  $\bar{R}_{B_2}$ .

## Conclusion

1 Dynamic constraint reactions can serve as parameters of the state of a mechanical oscillatory system as well as known forms of estimation based on the use of kinematic parameters.

2 The dynamic reaction of the constraints at the selected point of the system is defined in the operator form as the product of the displacement by the unit dynamic stiffness and carries information about the features of the resonance modes and the dynamic damping of the oscillations.

3 Methods of structural transformations are proposed for obtaining dynamic reactions, which are based on the use of the parameters of the feedback chains formed with respect to the selected mass-and-inertia elements.

4 The effect of the maximum of the constraint reaction is discovered, which is physically treated as an increase in the unit dynamic stiffness at the frequency corresponding to the mode of dynamic damping of oscillations.

## Список литературы

1 Eliseev, S. V. Applied system analysis and structural mathematical modeling (dynamics of transport and technological machines: connectivity of movements, vibration interactions, lever connections) / S. V. Eliseev. – Irkutsk : Irkutsk State University, 2018. – P. 692.

2 Kuznetsov, N. K. Reduction of dynamic loads in mine lifting installations / N. K. Kuznetsov, A. Y. Pereyagina, S. V. Eliseev // Journal of Physics : Conference Series. – 2018. – Vol. 944(1)012070.

3 Eliseev, A. V. Not-holding connections as a characteristic feature of dynamic interactions of elements of technical systems / A. V. Eliseev, A. I. Orlenko and S. V. Eliseev // Conference of Open Innovation Association, FRUCT. – 2018. – Vol. 21. – P. 100–107.

4 Kashuba, V. B. Dynamical responses in elements connecting's of mechanical oscillation systems / V. B. Kashuba, S. V. Eliseev, R. S. Bolshakov // Systems. Methods. Technologies. – Novosibirsk: Nauka. – 2018. – No. 1(37). – P. 331.

5 Eliseev, A. V. Specific modes of vibratory technological machines: mathematical models, peculiarities of interaction of system elements // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2018. – Vol. 11. International Conference on Mechanical Engineering / A. V. Eliseev, S. V. Eliseev and I. S. Sitov // Automation and Control Systems 2017 – Simulation and Automation of Production Engineering. – 2018. – Vol. 327.

6 Lapshin, V. L. Studies on the dynamics of impact interaction of the mechanoreological model under elastic plastic transformation of its mechanical system / V. L. Lapshin, A. V. Eliseev // Journal of Physics: Conference Series Mechanical Science and Technology Update MSTU. – 2018.

УДК 539.3

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФУНКЦИЙ ГРИНА В ЗАДАЧЕ О НЕСТАЦИОНАРНЫХ УПРУГОДИФФУЗИОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ БАЛКИ ТИМОШЕНКО

У. С. ГАФУРОВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

А. В. ЗЕМСКОВ, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Рассматривается задача о нестационарных колебаниях балки Тимошенко под действием пары изгибающих моментов. Схема приложенных усилий, а также ориентация осей прямоугольной декартовой системы координат представлена на рисунке 1.

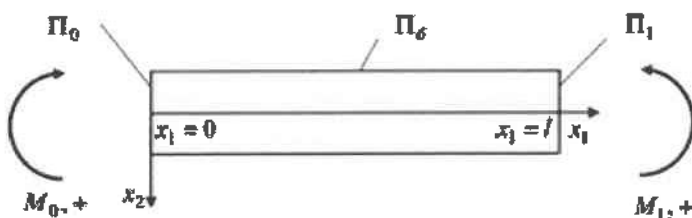


Рисунок 1 – Иллюстрация к постановке задачи

Математическая постановка задачи включает в себя уравнения изгиба балки Тимошенко и уравнение массопереноса [1–3]: