УДК 539.3

# ПАРАМЕТРЫ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕМПФИРОВАННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ПРИ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

*С. А. ВОРОБЬЕВ*
*Белорусский государственный университет транспорта*

В реальных механических системах и конструкциях всегда присутствуют силы трения различных видов: силы трения в материале; силы, связанные с конструкционным демпфированием, внешним сопротивлением и т. п. Любой вид сопротивления приводит к необратимым потерям энергии колебаний системы, вызванных каким-либо воздействием. Силы трения в зависимости от их величины и природы могут оказывать заметное влияние на параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции, особенно в областях резонансных колебаний.

В работе рассматривается модель упругой невесомой балки, несущей на себе точечные массы и совершающей свободные колебания, вызванные воздействием импульсов на эти массы. Однородные уравнения движения в прямой форме получены на основании принципа Даламбера:

$$[M]\{\ddot{y}\}+[B]\{\dot{y}\}+[r]\{y\}=0, \tag{1}$$

где $[M]=\mathrm{diag}[m_1, m_2, \dots, m_n]$ – диагональная матрица масс; $[B]=[b_{ij}]$ – квадратная $n\times n$ матрица демпфирования; $[r]=[r_{ij}]$ – квадратная $n\times n$ матрица жесткости; $\{y\}=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец перемещений, $\{\dot{y}\}=\{\dot{y}_1, \dot{y}_2, \dots, \dot{y}_n\}^{\mathrm{T}}$ и $\{\ddot{y}\}=\{\ddot{y}_1, \ddot{y}_2, \dots, \ddot{y}_n\}^{\mathrm{T}}$ – векторы скоростей и ускорений соответственно.

Подстановка вектора $\{y\}=\{A\}e^{\lambda t}$ в (1) приводит к системе линейных алгебраических уравнений для амплитудных перемещений $A_i$ ($I = 1, 2, \dots, n$) грузов

$$(m_i\lambda^2+b_{ii}\lambda+r_{ii})A_i+\sum_{j=1}^{n}(b_{ij}\lambda+r_{ij})A_j=0\,;\ (i=\overline{1,\,n};\ j\neq i). \tag{2}$$

Частотное уравнение относительно λ получается в результате раскрытия определителя матрицы коэффициентов системы (2). Корни этого степенного уравнения можно найти только численно, т.к. даже для системы с двумя степенями свободы оно имеет четвертый порядок. В зависимости от величины сил трения в механической системе возможны следующие комбинации корней частотного уравнения: все корни действительные и отрицательные величины – случай сильного демпфирования, когда массы совершают лимитационные движения; случай трения "средней" величины – отрицательные действительные и пары комплексно сопряженных корней с отрицательными действительными частями; все корни комплексно сопряженные – "слабое" трение. В двух последних вариантах грузы, размещенные на балке, совершают затухающие свободные колебания около положения статического равновесия.

В частном случае системы с двумя степенями свободы при слабом демпфировании получим корни:

$$\lambda_{1,2}=-n_1\pm i\omega_1,\ \lambda_{3,4}=-n_2\pm i\omega_2,\ (i=\sqrt{-1}\ \text{– мнимая единица}),$$

а уравнения движения грузов можно представить в следующем виде:

$$y_1(t)=C_1e^{-n_1t}\cos(\omega_1t+\varphi_1)+C_2e^{-n_2t}\cos(\omega_2t+\varphi_2),$$

$$y_2(t)=C_1|\chi_1|e^{-n_1t}\cos(\omega_1t+\varphi_1+\theta_1)+C_2|\chi_2|e^{-n_2t}\cos(\omega_2t+\varphi_2+\theta_2).$$

Здесь четыре константы $C_1$, $C_2$, $\phi_1$, $\phi_2$ находим из начальных условий, величины $n_1$, $n_2$, $\omega_1$, $\omega_2$, $|\chi_1|$, $|\chi_2|$, $\theta_1$, $\theta_2$ определяются физико-механическими параметрами системы. В частности, коэффициенты $\chi_j$ представляют собой отношения амплитуд из системы уравнений (2):

$$\chi_j=\frac{A_{2j}}{A_{1j}}=-\frac{m_1\lambda_j^2+b_{11}\lambda_j+r_{11}}{b_{12}\lambda_j+r_{12}}=-\frac{b_{21}\lambda_j+r_{21}}{m_2\lambda_j^2+b_{22}\lambda_j+r_{22}},\ (j=1,2).$$

Определив законы движения $y_i(t)$, находим силы инерции $F_i^{(и)}(t) = -m_i \ddot{y}_i(t)$, действующие на балку со стороны $i$-й массы. Уравнение изгибающих моментов для произвольного поперечного сечения с координатой $\xi$ ($0 \le \xi \le 1$) представляется в следующем виде:

$$M(\xi,t) = R(t)\,\xi - \sum_{i=1}^{n} F_i^{(и)}(\xi - \xi_i)H(\xi - \xi_i),$$

где R(t) – реакция на левой опоре; $\xi_i$ – координата расположения $i$-й массы; $H(\xi - \xi_i)$ – функция Хевисайда.

Выполнены расчеты параметров напряженно деформированного состояния механической системы с двумя степенями свободы для различных уровней демпфирования. Результаты позволяют сделать вывод о том, что учет сил трения даже малой величины (например, внутреннее трение в материале конструкции) заметно снижает с течением времени уровень напряжений в конструкции от воздействия мгновенных импульсов, а также качественно изменяет картину процесса колебаний.

УДК 621.3.029.6:674.8

## СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА БЕСКОМПЕНСАТОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

*В. И. ВРУБЛЕВСКАЯ, В. А. МАТУСЕВИЧ, А. Б. НЕВЗОРОВА*
*Белорусский государственный университет транспорта*

В БелГУТе создан новый класс износостойких подшипников скольжения самосмазывающихся на основе древесины торцово-прессового деформирования (ПСС). Для промышленного выпуска малогабаритных ПСС изготовлены полуавтоматы производительностью 650–700 подшипников в смену. ПСС взаимозаменяемы с подшипниками качения и подшипниками скольжения из традиционных антифрикционных материалов. При работе в абразивно-агрессивных средах ПСС по долговечности превосходят их в 2–5 раз, а в некоторых случаях и в десятки раз.

Существующий технологический процесс производства ПСС имеет один недостаток – установку компенсатора после высокотемпературной пропитки. При этом из древесного вкладыша удаляется почти вся влага и происходит его усушка. Образуется зазор, устраняемый компенсатором (рисунок 1). Данная часть процесса производится исключительно вручную, что не способствует ускорению процесса производства и удешевлению изделия. Компенсатор является слабым местом подшипника, поскольку в цельном вкладыше образуется два стыка.

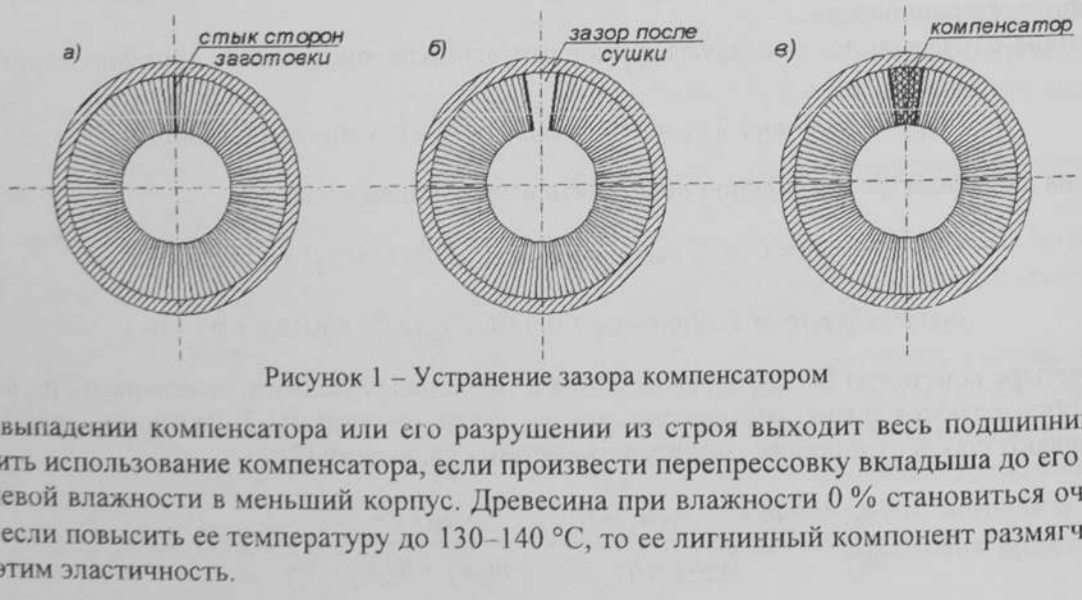


Рисунок 1 – Устранение зазора компенсатором

При выпадении компенсатора или его разрушении из строя выходит весь подшипник. Можно исключить использование компенсатора, если произвести перепрессовку вкладыша до его пропитки при нулевой влажности в меньший корпус. Древесина при влажности 0 % становиться очень хрупкой, но если повысить ее температуру до 130–140 °С, то ее лигнинный компонент размягчается, повышая этим эластичность.