

МЕХАНИКА

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКОУПРУГОЙ
ОБОЛОЧКИ, ЗАКЛЮЧЕННОЙ В УПРУГУЮ МАТРИЦУ

И. Т. ПИРМАМЕДОВ

Бакинский Государственный Университет

Проблема создания оптимальных конструкций приводит к необходимости более полного учета особенностей свойств материалов, а также связей, налагаемых на конструкции и их элементы со стороны внешней контактной среды. Одним из наиболее существенных особенностей деформационных характеристик является снижение их уровня в процессе эксплуатации, связанное с процессом накопления и развития в объеме материала различного рода дефектов. Учет повреждаемости позволяет уточнить рабочий ресурс.

Надежный расчет цилиндрической оболочки, контактирующей со средой на длительную прочность, предполагает учет образующихся и накапливающихся дефектов и влияния внешней среды. При периодичности напряжения этот учет носит усложненный характер, связанный с так называемым процессом заживления дефектов. Поэтому определенную роль при подобных расчетах играют различного рода теории повреждаемости. Одной из экспериментально подтвержденных теорий повреждаемости является наследственная теория повреждаемости, разработанная для одномерного случая в [1] и развитая для сложно – напряженного состояния в [2, 3]. Согласно этой теории определяющие уравнения для неоднородного тела (\bar{x} - вектор-координата точки тела) записываются в виде:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{E(\bar{x})} \cdot \sigma_{ij} + K^* \cdot \sigma_{ij} + M^* \cdot \sigma_{ij}$$

где $E(\bar{x})$ - модуль Юнга, а L^* и M^* - интегральные операторы наследственного типа, описывающие, соответственно, процессы обратимой ползучести и повреждаемости, и для которых имеют место представления:

$$K^* \cdot \sigma_{ij} = \int_0^t K(\bar{x}, t - \tau) \cdot \sigma_{ij}(\tau) d\tau$$

$$M^* \cdot \sigma_{ij} = \sum_{k=0}^n f(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} M(\bar{x}, t_k^+ - \tau) \cdot \sigma_{ij}(\tau) d\tau + \int_{t_{n+1}^-}^t M(\bar{x}, t - \tau) \cdot \sigma_{ij}(\tau) d\tau$$

Здесь $K(\bar{x}, t - \tau)$ и $M(\bar{x}, t - \tau)$ -соответственно, ядра обратимой ползучести и повреждаемости; $(t_k^-; t_k^+)$ -интервалы периодов активного напряжения, способствующего росту повреждаемости; $f(t_k^+)$ -функция залечивания дефектов, зависящем от объема повреждаемости, накопленной за данный цикл. Например, значения $f(t_k^+) = 0$ соответствует полному залечиванию дефектов, образовавшихся за данный цикл, а значения $f(t_k^+) = 1$ отсутствию самого эффекта залечивания дефектов. Все промежуточные значения от нуля до единицы соответствуют эффекту частичной залечиваемости дефектов. Для определения интервалов $(t_k^-; t_k^+)$ необходимо задавать специальные условия. Их удобно формулировать для конкретной задачи с учетом специфики конструкции, условия ее работы и вида нагружения. В данной работе так и поступается, и подобные условия будут сформулированы ниже.

Влияние внешней среды может быть произведено на основе модели Винклера и его обобщений. В данной работе для учета влияния среды применяется модель Пастернака [4]. Суть этой модели заключается в том, что влияние среды на оболочку на поверхности контакта определяется силой реакции, задаваемой в виде:

$$q_z = (q_1 + q_0 \nabla^2) w$$

где ∇^2 - двумерный оператор Лапласа на поверхности константа, w - прогиб оболочки, q_1, q_0 - постоянные.

Таким образом, решение задачи для оболочечной конструкции, материал который следует вышеприведенным деформационным соотношениям, наследственной теории повреждаемости, а учет внешней среды осуществляется согласно модели Пастернака представляет собой достаточно сложную математическую задачу, трудность решения которой усугубляется учётом динамических эффектов, крайне важных для задач сейсмологии и виброзащиты. Получение аналитических решений здесь крайне проблематично, а в большинстве случаев просто невозможно. В этом случае актуальным является разработка приближенных методов решения, в частности вариационных.

Для задач, подобных рассматриваемой в данной работе – это также получение непротиворечивых теорий тонкостенных конструкций типа оболочек и стержней.

В данной статье с помощью вариационного принципа исследуются параметрические колебания тонкой, неоднородной по толщине, вязкоупругой повреждающейся цилиндрической оболочки с упругим наполнителем, находя-

щейся под действием внешнего давления q , в геометрически нелинейной постановке.

Рассмотрим цилиндрическую оболочку кругового сечения радиуса R , толщиной $2h$, длиной ℓ , заполненной упругой средой. Примем, что модуль упругости и плотность переменны лишь по толщине оболочки, то есть $E = E(z)$, $\rho = \rho(z)$, где z - радиальная координата оболочки. Также примем переменность лишь по толщине оболочки ядер операторов обратимой ползучести и повреждаемости, то есть

$$K(\bar{x}, t) = K(z; t), M(\bar{x}, t) = M(z; t).$$

Для варианта, когда переменность по толщине оболочки физических свойств проявляется только лишь посредством переменности модуля Юнга, получим:

$$K(z, t) = \frac{1}{E(z)} L(t); M(z, t) = \frac{1}{E(z)} M(t).$$

Действие среды на оболочку определим контактной силой $q_z = q_1 \left(1 + \frac{q_0}{q_1} \nabla^2 \right) w$, распределенной по внутренней поверхности оболочки и направленной против движения точек поверхности оболочки.

Предполагается, что торцы оболочки шарнирно закреплены, т.е. при $x = 0; \ell$ имеет место:

$$N_{xx} = 0; M_{xx} = 0; w = 0; \nu = 0,$$

где N_{xx} - осевое усилие, M_{xx} - изгибающий момент, w, ν - компоненты вектора перемещения точки оболочки-прогиба и радиального перемещения, соответственно.

Для исследования параметрических колебаний и длительной прочности неоднородной по толщине тонкой цилиндрической вязкоупругой оболочки с упругим наполнителем с учётом образующихся и накапливающихся в оболочке дефектов воспользуемся вариационным принципом, для которого в физических проекциях функционал с учётом интегрирования по толщине, имеет вид [5]:

$$\begin{aligned}
J = & \int_0^T \int_0^\ell \int_0^{\pi/k} \left\{ \dot{N}_{xx} \left(\frac{\partial \dot{u}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \right) + \dot{N}_{x\varphi} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial \dot{u}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \dot{v}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial \dot{v}}{\partial \varphi} \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \right) + \right. \\
& \left. + \frac{1}{R} \frac{\partial \dot{w}}{\partial \varphi} \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \right\} + \dot{N}_{\varphi\varphi} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial \dot{v}}{\partial \varphi} + \frac{\dot{v}}{R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial \dot{v}}{\partial \varphi} \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \right) - \dot{M}_{xx} \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial x^2} - \frac{2}{R} \dot{M}_{x\varphi} \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial x \partial \varphi} - \\
& - \dot{M}_{\varphi\varphi} \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial \varphi^2} - \frac{1}{8h^2} \dot{N}_{xx} \left[\frac{1}{E_0} (\dot{N}_{xx} - \nu \dot{N}_{\varphi\varphi}) + \frac{1}{E_1} (\dot{M}_{xx} - \nu \dot{M}_{\varphi\varphi}) \frac{3}{h^2} \right] - \\
& - \frac{3}{8h^4} \dot{M}_{xx} \left[\frac{1}{E_1} (\dot{N}_{xx} - \nu \dot{N}_{\varphi\varphi}) + \frac{3}{h^2} \frac{1}{E_2} (\dot{M}_{xx} - \nu \dot{M}_{\varphi\varphi}) \right] - \\
& - \frac{1}{8h^2} \dot{N}_{\varphi\varphi} \left[\frac{1}{E_0} (\dot{N}_{\varphi\varphi} - \nu \dot{N}_{xx}) + \frac{1}{E_1} \frac{3}{h^2} \frac{1}{E_1} (\dot{M}_{\varphi\varphi} - \nu \dot{M}_{xx}) \right] - \\
& - \frac{3}{8h^4} \dot{M}_{\varphi\varphi} \left[\frac{1}{E_1} (\dot{N}_{\varphi\varphi} - \nu \dot{N}_{xx}) + \frac{1}{E_2} \frac{3}{h^2} (\dot{M}_{\varphi\varphi} - \nu \dot{M}_{xx}) \right] - \\
& - \frac{1+\nu}{4h^2} \dot{N}_{x\varphi} \left[\frac{1}{E_0} \dot{N}_{x\varphi} - \frac{3}{h^2} \frac{1}{E_1} \dot{M}_{x\varphi} \right] - \frac{3}{4h^2} \dot{M}_{x\varphi} \left[\frac{1}{E_1} \dot{N}_{\varphi\varphi} + \frac{3}{h^2} \frac{1}{E^2} \dot{M}_{x\varphi} \right] (1+\nu) - \\
& - \frac{1}{4h^2} \dot{N}_{xx} \left[\int_{-\infty}^t K_0(t, \tau) (2N_{xx} - N_{\varphi\varphi}) \frac{1}{3} d\tau + \int_{-\infty}^t K_1(t, \tau) (2M_{xx} - M_{\varphi\varphi}) \frac{1}{h^2} d\tau \right] - \\
& - \frac{3}{4h^4} \dot{M}_{xx} \left[\int_{-\infty}^t K_1(t, \tau) (2N_{xx} - N_{\varphi\varphi}) \frac{1}{3} d\tau + \int_{-\infty}^t K_2(t, \tau) (2M_{xx} - M_{\varphi\varphi}) \frac{1}{h^2} d\tau \right] - \\
& - \frac{1}{4h^2} \dot{N}_{\varphi\varphi} \left[\int_{-\infty}^t K_0(t, \tau) (2N_{\varphi\varphi} - N_{xx}) \frac{1}{3} d\tau + \int_{-\infty}^t K_1(t, \tau) (2M_{\varphi\varphi} - M_{xx}) \frac{1}{h^2} d\tau \right] - \\
& - \frac{3}{4h^4} \dot{M}_{\varphi\varphi} \left[\int_{-\infty}^t K_1(t, \tau) (2N_{\varphi\varphi} - N_{xx}) \frac{1}{3} d\tau + \int_{-\infty}^t K_2(t, \tau) (2M_{\varphi\varphi} - M_{xx}) \frac{1}{h^2} d\tau \right] - \\
& - \frac{1}{2h^2} \dot{N}_{x\varphi} \left[\int_{-\infty}^t K_0(t, \tau) N_{x\varphi} d\tau + \frac{3}{h^2} \int_{-\infty}^t K_1(t, \tau) M_{x\varphi} d\tau \right] - \\
& - \frac{3}{4h^4} \dot{M}_{x\varphi} \left[\int_{-\infty}^t K_1(t, \tau) N_{x\varphi} d\tau + \frac{3}{h^2} \int_{-\infty}^t K_2(t, \tau) M_{x\varphi} d\tau \right] - \\
& - \frac{\dot{N}_{xx}}{4h^2} \left\{ \sum_{k=1}^{n-1} f_k(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} \frac{1}{3} M(t_k^+ - \tau) (2N_{xx} - N_{\varphi\varphi}) d\tau + \int_{t_n^-}^t M(t - \tau) (2N_{xx} - N_{\varphi\varphi}) d\tau \right\} - \\
& - \frac{3}{4h^2} \dot{M}_{xx} \left\{ \sum_{k=1}^{n-1} f_k(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} \frac{1}{3} M(t_k^+ - \tau) (2N_{xx} - N_{\varphi\varphi}) d\tau + \int_{t_n^-}^t M(t - \tau) (2N_{xx} - N_{\varphi\varphi}) d\tau \right\} -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{4h^2} \dot{N}_{\varphi\varphi} \left\{ \sum_{k=1}^{n-1} f_k(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} \frac{1}{3} M(t_k^+ - \tau)(2N_{\varphi\varphi} - N_{xx}) d\tau + \int_{t_n^-}^t M(t - \tau)(2N_{\varphi\varphi} - N_{xx}) d\tau \right\} - \\
& -\frac{3}{4h^2} \dot{M}_{\varphi\varphi} \left\{ \sum_{k=1}^{n-1} f_k(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} \frac{1}{3} M(t_k^+ - \tau)(2N_{\varphi\varphi} - N_{xx}) d\tau + \int_{t_n^-}^t M(t - \tau)(2N_{\varphi\varphi} - N_{xx}) d\tau \right\} - \\
& -\frac{1}{4h^2} \dot{N}_{x\varphi} \left\{ \sum_{k=1}^{n-1} f_k(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} \frac{1}{3} M(t_k^+ - \tau) N_{x\varphi} d\tau + \int_{t_n^-}^t M(t - \tau) N_{x\varphi} d\tau \right\} - \\
& -\frac{3}{2h^4} \dot{M}_{x\varphi} \left\{ \sum_{k=1}^{n-1} f_k(t_k^+) \int_{t_k^-}^{t_k^+} \frac{1}{3} M(t_k^+ - \tau) N_{x\varphi} d\tau + \int_{t_n^-}^t M(t - \tau) N_{x\varphi} d\tau \right\} \Bigg\} R dx d\varphi dt + \\
& + \int_0^T \int_0^{\ell} \int_0^{\pi/k} R \dot{q} \dot{v} dx d\varphi dt - \int_0^T \int_0^{\ell} \int_0^{\pi/k} R (\tilde{q} + \tilde{q}_0 \nabla^2) w^2 dx d\varphi dt + \frac{1}{2} \int_0^T \int_0^{\ell} \int_0^{\pi/k} \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 R d\varphi dx dt
\end{aligned}$$

где T - период колебания.

$$\frac{1}{E_i} = \int_{-h}^h \frac{z^i}{E(z)} dz, \quad K_i = \int_{-h}^h z^i K(z, t) dz, \quad \rho_i = \int_{-h}^h \rho(z) z^i dz, \quad i = 0, 1, 2.$$

Варируемыми величинами в функционале являются $\dot{u}, \dot{W}, \dot{v}, \dot{N}_{xx}, \dot{N}_{x\varphi}, \dot{N}_{\varphi\varphi}, \dot{M}_{xx}, \dot{M}_{x\varphi}, \dot{M}_{\varphi\varphi}$. Для определения стационарного значения функционала (1) применим метод Ритца. Исходя из ожидаемой физической картины колебания цилиндрической оболочки, неизвестные варьируемые величины ищем в виде:

$$\begin{aligned}
u &= \cos \frac{\pi x}{l} \sin(m\varphi) (u_0 \cos \alpha t + u_1 \sin \alpha t); v = \sin \frac{\pi x}{l} \cos(m\varphi) (v_0 \cos \alpha t + v_1 \sin \alpha t) \\
w &= \sin \frac{\pi x}{l} \sin(m\varphi) (w_0 \cos \alpha t + w_1 \sin \alpha t); N_{xx} = \sin \frac{\pi x}{l} \sin(m\varphi) (N_{10} \cos \alpha t + N_{11} \sin \alpha t) \\
N_{x\varphi} &= \cos \frac{\pi x}{l} \cos(m\varphi) (N_{30} \cos \alpha t + N_{31} \sin \alpha t); N_{\varphi\varphi} = -qR + \sin \frac{\pi x}{l} \sin(m\varphi) (N_{20} \cos \alpha t + N_{21} \sin \alpha t) \\
M_{xx} &= \cos \frac{\pi x}{l} \sin(m\varphi) (M_{10} \cos \alpha t + M_{11} \sin \alpha t); N_{\varphi\varphi} = \sin \frac{\pi x}{l} \sin(m\varphi) (N_{20} \cos \alpha t + N_{21} \sin \alpha t) \\
N_{x\varphi} &= \cos \frac{\pi x}{l} \cos(m\varphi) (N_{30} \cos \alpha t + N_{31} \sin \alpha t),
\end{aligned}$$

где m - число волн в окружном направлении. Отметим, что это число должно быть четным ввиду периодичности задачи. Выражение для окружного напряжения указывает на его аналог с аппроксимацией для статики. В интегральных членах операторов повреждаемости периоды активного нагружения $[t_k^-, t_k^+]$ определяются по приведённым выше аппроксимациям при условии их возраста-

ния, это $\left[\left(-\frac{\pi}{2} + 2\pi + \arctg \frac{b}{a} \right) / \omega; 2\pi k + \arctg \frac{b}{a} \right]$, где a и b - соответственно,

коэффициенты при $\cos \omega t$ и $\sin \omega t$ в аппроксимационных представлениях. Характерное время T будем определять как наибольшее из t_n^+ .

Подставим аппроксимации (3) в функционал (1) и проинтегрируем по x и t . Тогда вместо функционала (1) получим функцию переменных $\dot{u}_i, \dot{v}_i, \dot{W}_i, \dot{N}_{3i}, \dot{M}_{3i}, \dot{N}_{1i}, \dot{N}_{2i}, \dot{M}_{1i}, \dot{M}_{2i}$ и параметров ω и n , которая из-за громоздкости своего выражения здесь не приводится. Стационарное значение этой функции определяется из следующей системы:

$$\begin{aligned}
 & 1) \frac{\partial J}{\partial \dot{u}_0} = 0; \quad 2) \frac{\partial J}{\partial \dot{u}_1} = 0; \quad 3) \frac{\partial J}{\partial \dot{v}_0} = 0; \quad 4) \frac{\partial J}{\partial \dot{v}_1} = 0; \quad 5) \frac{\partial J}{\partial \dot{w}_0} = 0; \\
 & 6) \frac{\partial J}{\partial \dot{v}_1} = 0; \quad 7) \frac{\partial J}{\partial \dot{N}_{10}} = 0; \quad 8) \frac{\partial J}{\partial \dot{N}_{11}} = 0; \quad 9) \frac{\partial J}{\partial \dot{N}_{30}} = 0; \quad 10) \frac{\partial J}{\partial \dot{N}_{31}} = 0 \\
 & 11) \frac{\partial J}{\partial \dot{N}_{20}} = 0; \quad 12) \frac{\partial J}{\partial \dot{M}_{10}} = 0; \quad 13) \frac{\partial J}{\partial \dot{M}_{11}} = 0; \quad 14) \frac{\partial J}{\partial \dot{M}_{20}} = 0; \\
 & 15) \frac{\partial J}{\partial \dot{M}_{21}} = 0; \quad 16) \frac{\partial J}{\partial \dot{M}_{30}} = 0; \quad 17) \frac{\partial J}{\partial \dot{M}_{31}} = 0; \quad 18) \frac{\partial J}{\partial \dot{N}_{21}} = 0.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Начальные значения для решения этой системы определяются следующим: при отсутствии нагрузки - в оболочке имеет место естественное состояние, т.е., при $q_i = 0$ имеем

$$u_i = v_i = W_i = 0; \quad N_{ij} = M_{ij} = 0 \quad (i, j = 1, 2, 3).$$

Итак, приведенная система приближенно описывает параметрические колебания нелинейной вязкоупругой оболочки, неоднородной по толщине, с учетом нелинейности прогиба и процесса повреждаемости материала оболочки.

Полученная система уравнений является системой квазилинейных дифференциальных уравнений эта система сначала разрешается относительно производных

$\dot{u}_0, \dot{u}_1, \dot{v}_0, \dot{v}_1, \dot{W}_0, \dot{W}_1, \dot{N}_{10}, \dot{N}_{11}, \dot{N}_{30}, \dot{N}_{31}, \dot{N}_{20}, \dot{N}_{21}, \dot{M}_{10}, \dot{M}_{11}, \dot{M}_{20}, \dot{M}_{21}, \dot{M}_{30}, \dot{M}_{31}$, после чего она решается численным методом Рунге-Кутты при соответствующих начальных условиях с использованием следующих безразмерных величин:

$$\begin{aligned}
 C_i &= W_i / h; \quad V_i = v_i / h; \quad U_i = u_i / h; \quad n_{1i} = N_{1i} / (E_x h); \\
 m_{1i} &= M_{1i} / (E_x h^2); \quad n_{2i} = N_{2i} / (E_x h); \quad n_{3i} = N_{3i} / (E_x h); \\
 m_{2i} &= M_{2i} / (E_x h^2); \quad m_{3i} = M_{3i} / (E_x h^2) \quad (i = 0, 1).
 \end{aligned}$$

При этом функция неоднородности принята в виде:

$$E(z) = E_x \left[1 + \alpha \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right],$$

где E_x - характерный модуль Юнга, α - параметр неоднородности.

Отметим, это в функционале и далее под параметром дифференцирования понимается параметр, характеризующий нагружение. В рассматриваемом случае, нагружение зависит от двух параметров q_0 и q_1 . В общем случае они не связаны друг с другом. Но если бы стояла задача, при решении которой необходимо задать лишь конкретные значения q_0 и q_1 , то можно было бы их конечные значения определить одно через другое, а за параметр дифференцирования взять, например, q_0 . Для данной задачи это связано с необходимостью наличия зависимости, когда переменным является один из параметров, что приводит к усложнению расчётной части. В этом случае целесообразно введение двух параметров дифференцирования. Первоначально, допуская $q_1=0$, за параметр дифференцирования принимается q_0 . Система уравнений решается до конкретного значения q_0 . Затем за параметр дифференцирования берётся q_1 , считая, что q_0 не зависит от ε_1 . Начальные условия в этом случае берутся из решения задачи предыдущего этапа. Тем самым исходная задача решается в два этапа.

Целью данного исследования является определение параметрических колебаний. Для таких задач важным является определение на плоскости «нагрузки – частота» границы раздела устойчивых и неустойчивых колебаний. Под неустойчивыми колебаниями подразумеваются такие колебания, когда амплитуда их во времени стремится к бесконечности, в противовес устойчивым, когда амплитуда остается ограниченной.

Система уравнений (5), очевидно, описывает устойчивые колебания. Решение системы существует, если определитель этой системы отличен от нуля. В противном случае, решение неограниченно возрастает, так как система неоднородна. Отметим, что это составляет отличие данной задачи от задачи о свободных колебаниях, где равенство нулю определителя приводит к неопределенности. Так как определитель зависит от параметров нагрузки и частоты, а также от ядер ползучести и повреждаемости и числа циклов, то получаем, что на плоскости нагрузка- частота равенство определителя нулю эквивалентно некоторой кривой. Эта кривая определяет границу зоны устойчивости параметрических колебаний. Таким образом, для решения основной задачи параметрических колебаний достаточно исследовать условия обращения в ноль главного определителя системы.

Отметим, что такая формулировка задачи определяет алгоритм решения: найти значения частот и параметров нагружения, при которых функции напряженно-деформированного состояния стремятся к бесконечности.

При численных расчетах для параметров задачи были приняты:

$$\beta_0 = \frac{\delta}{a} = 1; \rho = 0,3; q_1 = 24 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3, \alpha_0 = 0,05; \alpha = 0,5; \tau_0 = 0,03.$$

Ядра ползучести и повреждаемости приняты в виде:

$$K(z, t) = \frac{a}{E(z)} e^{-\beta z}; M(z, t) = \frac{b}{E(z)} e^{-\beta z},$$

где a и b - механические параметры, β - показатель экспоненты.

На рисунке сплошным линиям соответствуют колебания нелинейной, неоднородной по толщине вязкоупругой цилиндрической оболочки с учетом явления повреждаемости, а пунктиром - без явлений повреждаемости. Расчеты показывают, что учет явления повреждаемости приводит к сужению зоны ограниченных колебаний.

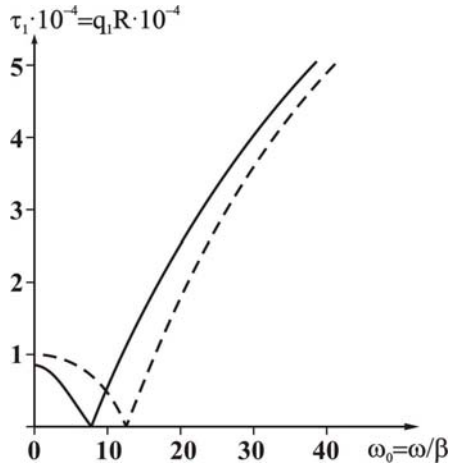


Рис. Области устойчивых и неустойчивых параметрических колебаний. Сплошная линия-граница устойчивых колебаний с учетом повреждаемости, пунктирная линия - граница устойчивых колебаний без учета повреждаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суворова Ю.В., Викторова И.В., Машинская Г.П. Длительная прочность и разрушения органопластиков. МКМ, 1980, №6, с. 1010-1013.
2. Суворова Ю.В., Ахундов М.Б. Длительное разрушение изотропной среды в условиях сложного напряженного состояния. Машиностроение, 1986, №4, с.40-46
3. Ахундов М.Б. Деформирование, рассеянное разрушение и критерии прочности неупругих композитов. Изв. АН СССР, МТТ, 1991, №2, с.63-70.
4. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М., Стройиздат, 1954, 56 с.
5. Ализаде А.Н., Амензаде Р.Ю. Вариационный принцип нелинейно-вязкоупругости с учетом геометрической нелинейности. ДАН СССР, Т.230, №6, 1976, с.1303-1305.

MÜHİTLƏ TƏMASDA OLAN QEYRİ-XƏTTİ ÖZLÜ-ELASTİKİ ÖRTÜYÜN PARAMETRİK RƏQSLƏRİ

İ.T. PİRMƏMMƏDOV

XÜLASƏ

Məqalədə xarici periodik dəyişən qüvvənin təsirinə məruz qalan mühitlə kontaktda olan müəyyən həcmdə zədələri əmələ gələn qeyri-xətti özlü-elastiki qalınlığı boyu qeyri-bircins silindrik örtüyün parametrik rəqslərinə baxılmışdır. Mühitin təsiri Pasternak modelinin köməyi ilə nəzərə alınmışdır. Dayanıqlığın böhran qüvvəsinə zədələrin, qeyri-bircinsliyin, mühitin təsiri öyrənilmişdir.

Məsələ ədədi üsulla tədqiq olunmuşdur. Qüvvə-tezlik müstəvisində dayanıqlıq oblastını qeyri-dayanıqlıq oblastından ayıran əyri qurulmuşdur.

**PARAMETRICAL FLUCTUATIONS of the NONLINEAR
VISCOELASTIC COVER, ENCLOSED INTO the ELASTIC MATRIX**

I.T.PIRMAMEDOV

SUMMARY

The problem of creation of optimum constructions results in necessity of more full account of material property features, and also the connections imposed on constructions and their elements on the part of the external contact environment. One of the most essential features of deformation characteristics is their level decrease while in service, connected with process of accumulation and development of a various sort of defects in volume of a material. The account of damageability allows to specify a working resource.