

Решение начально-краевой задачи (5) проводится методом Бубнова-Галеркина. Для этого иско-
мые перемещения $u_1(x, t)$, $u_2(x, t)$, $w_1(x, t)$, $w_2(x, t)$ и нагрузка $q(x, t)$ представляются в виде разложе-
ния в ряды по системам базисных функций:

$$u_1(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m1}(t); \quad u_2(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m2}(t); \quad w_1(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m3}(t);$$

$$w_2(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m4}(t); \quad q(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} q_m(t), \quad q_m(t) = \frac{2}{l} \int_0^l q(x, t) \sin \frac{\pi m x}{l} dx.$$

В этом случае выполняются условия свободного опирания стержня по торцам на неподвижные жесткие опоры.

Функции $T_{mk}(t)$ представляются в виде разложения по собственным формам:

$$T_{mk} = \sum_{i=1}^4 \delta_{mki} \zeta_{mi} \left(\sum_{i=1}^4 \delta_{mik}^2 = 1 \right),$$

где δ_{mki} — амплитуды нормированных собственных форм колебаний.

Выражение для функций $\zeta_{mi}(t)$ принимаются в виде

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi} t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi} t) + \frac{1}{\omega_{mi}} \int_0^t \sin(\omega_{mi}(t - \tau)) \tilde{q}_{mi}(\tau) d\tau,$$

где ω_{mi} — частоты собственных колебаний стержня, A_{mi} , B_{mi} — константы интегрирования, опреде-
ляемые из начальных условий.

Таким образом, построена математическая модель и решена задача о колебании трехслойного стержня на упругом безынерционном винклеровском основании.

УДК 539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ И НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОПОДОБНЫХ СЛОЕВ

Н. А. МАРЬИНА

Белорусский государственный университет транспорта

Многие задачи повышения износостойкости можно решить путем нанесения многослойных по-
крытий на основе оксидов и нитридов металлов и углеродных слоев. Физико-химические и механи-
ческие свойства гетерогенных тонкопленочных систем определяются природой отдельных ингре-
диентов, характером распределения фаз в объеме матрицы, межфазными процессами и структурой
образующихся переходных граничных слоев. Теоретические исследования подобных систем весьма
ограничены, что препятствует их эффективному практическому применению. Научный и практиче-
ский интерес представляет изучение особенностей напряженно-деформированного состояния таких
систем с учетом межфазных слоев и исследование их влияния на параметры системы в целом. По-
этому проведение исследовательских работ является необходимым условием создания оптималь-
ных по своей конструкции многослойных покрытий с учетом их эксплуатационных и технологиче-
ских показателей, а также высокой эффективности и перспективности при упрочнении различных
высокоточных деталей.

Результатом проводимых исследований является определение оптимальных технологических и
физико-механических параметров для формирования многослойных композиционных покрытий
при различных условиях нагружения. При этом в качестве основного критерия оптимизации ис-
пользуются соотношения параметров размещения зоны максимальных эффективных напряжений и
областей материала с максимальной когезионной прочностью.

Таким образом, проводимые исследования являются дальнейшим развитием методов расчета и оптимизации свойств многослойных, сложных по структуре систем на основе реакционно способных компонент, а также разработкой основ прогнозирования ресурса таких материалов и позволяют предлагать новые конструкции тонкопленочных систем, эксплуатирующихся при различных режимах и условиях. Создание и решение на базе основных положений механики деформируемого твердого тела математических моделей взаимодействия слоистых систем позволяет предложить научно-обоснованные решения задачи повышения срока службы узлов трения машин.

УДК 539.4

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К РАСЧЕТУ СЛОИСТЫХ ТРУБ ИЗ КОМПОЗИТОВ

С. А. МАРЬИН, В. В. МОЖАРОВСКИЙ

Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины

Использование трубопроводного транспорта сопряжено с решением ряда технических задач. Среди них выделяют задачи оценки прочности, коррозионной устойчивости, долговечности и повышения срока службы. Одним из способов решения ряда задач такого типа является использование многослойных материалов для трубопроводов. В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние цилиндрического тела, находящегося под действием равномерно распределенного внутреннего давления p и лежащего на жесткой опоре, которая имеет форму желоба и линейный размер которой определяется углом α (рисунок 1).

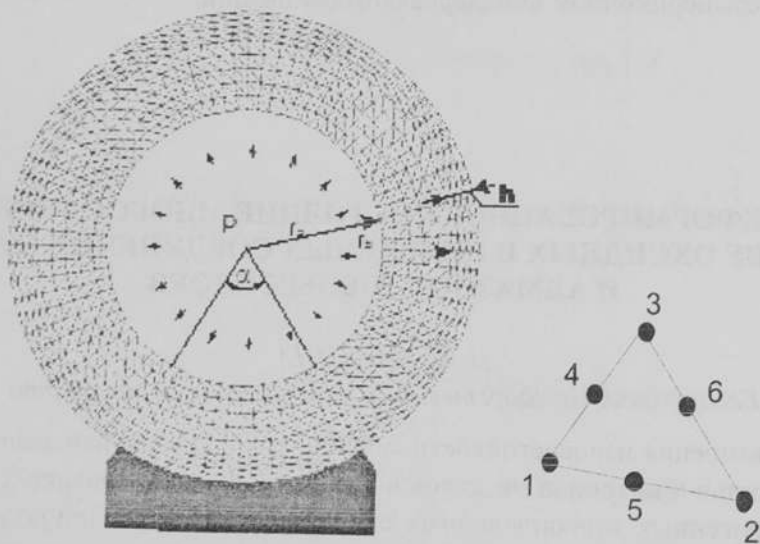


Рисунок 1 – Футерованная труба на жесткой опоре

При решении данной задачи использовался метод конечных элементов. Разбиение проводилось квадратичными треугольными элементами.

Перемещения узлов элемента u и v выражаются квадратичными функциями их координат:

$$\begin{aligned} u &= b_1 + b_2x + b_3y + b_4x^2 + b_5xy + b_6y^2, \\ v &= b_7 + b_8x + b_9y + b_{10}x^2 + b_{11}xy + b_{12}y^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Исследование полей распределения напряжений проводилось в зависимости от размера опоры, т. е. от величины угла α . Следует отметить, что при различной величине угла закрепления концентрация напряжений сосредотачивается вблизи граничной области закрепления. Что касается количественных характеристик, то с увеличением площади опоры максимальные напряжения возраста-