

Виды вентиляционных отверстий и их размещение по поверхности кровли должны быть адаптированы с формой кровли, уклонами и обеспечивать нормальную вентиляцию чердака. Рекомендуется устанавливать слуховые окна с противоположных сторон здания, желательно друг напротив друга, чтобы было сквозное проветривание. В результате обследования выявлено наличие только двух слуховых окон, расположенных в разных частях здания, что является недостаточным для данной площади кровли.

Таким образом, уже на стадии проектного решения данная конструкция кровли имела ряд недоработок и ошибок, что привело к возникновению и развитию многочисленных дефектов и повреждений отдельных конструктивных элементов здания (конструкций крыши и кровли) и, в конечном итоге, – к необходимости их замены.

Исходя из всего вышеизложенного (выполненного анализа проектного решения, а также результатов детального обследования элементов и конструкций здания), можно с уверенностью сказать, что значительные дефекты и повреждения элементов и конструкций зданий возникают в результате отсутствия или недостаточного уровня проработки как общепроектной, так и рабочей документации. Поэтому при разработке и выборе технических решений и дальнейшем производстве работ следует не допускать ошибок, которые могут привести к последствиям, связанным с существенными затратами на их устранение, и возможностью возникновения аварийной ситуации.

УДК 539.3

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОДКРЕПЛЕННЫХ КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

В. Ф. МЕЙШ, Ю. А. МЕЙШ

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Постановка задачи. Рассматривается ортотропная подкрепленная коническая оболочка, заключенная в упругой среде, под действием внутренней импульсной нагрузки. Упругая среда моделируется основанием типа Винклера [2]. Данная модель характеризуется коэффициентом постели Винклера C_1 , который отвечает за работу упругого основания на растяжение – сжатие.

Полагается, что неоднородная оболочечная структура состоит из собственно гладкой оболочки вращения и системы кольцевых ребер, которые жестко соединены с ней по линиям контакта. В качестве математической модели процессов вынужденных колебаний указанной структуры рассматривается гиперболическая система нелинейных дифференциальных уравнений теории оболочек и криволинейных стержней типа Тимошенко. Полагается, что закон изменения перемещений по толщине гладкой оболочки в системе координат (s, z) принимается согласно зависимостей

$$u_1^z(s, z) = u_1(s) + z\varphi_1(s), \quad (1)$$

$$u_3^z(s, z) = u_3(s),$$

где u_1, u_3, φ_1 – компоненты обобщенного вектора перемещений срединной поверхности оболочки; $s = \alpha_1 A_1$, α_1 – пространственная координата, A_1 – коэффициент первой квадратичной формы срединной поверхности гладкой оболочки.

При рассмотрении теории конических оболочек используется система координат (s, θ, z) , где координата s ($s = \alpha_1 A_1$) отсчитывается от левого края оболочки с радиусом срединной поверхности R_0 (вариант срезанных конических оболочек). Коэффициенты первой квадратичной формы и кривизны координатной поверхности записываются в виде $A_1 = 1$, $A_2 = R_s$, $k_1 = 0$, $k_2 = \cos\beta/R_s$, где β – угол конусности, s – текущая координата, $R_s = R_0 + s \cdot \sin\beta$. Для определения деформированного состояния j -го ребра используется обобщенный вектор перемещений центра тяжести его поперечного

сечения $\bar{U}_j = (u_{1j}, u_{3j}, \varphi_{1j})$. Условия контакта, связывающие компоненты вектора $\bar{U} = (u_1, u_3, \varphi_1)$ с соответствующими компонентами вектора \bar{U}_j , принимаются согласно [1,3].

Для определения напряженно-деформированного состояния неоднородной упругой структуры используется геометрически нелинейный вариант теории оболочек в квадратичном приближении [3]. При этом, деформационные соотношения для оболочек и j -го ребра принимаются в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial u_1}{\partial s} + \frac{1}{2} \theta_1^2, & \varepsilon_{22} &= \frac{u_1}{A_2} \frac{\partial A_2}{\partial s} + k_2 u_3, & \varepsilon_{13} &= \varphi_1 + \theta_1, \\ \theta_1 &= \frac{\partial u_3}{\partial s}, & \kappa_{11} &= \frac{\partial \varphi_1}{\partial s}, & \kappa_{22} &= \frac{\varphi_1}{A_2} \frac{\partial A_2}{\partial s}, & \varepsilon_{22j} &= k_{2j} u_{3j}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для вывода уравнений колебаний неоднородной оболочечной структуры применяется вариационный принцип Гамильтона – Остроградского с условиями контакта оболочки – j -е ребро в дифференциальной и интегральной формах [1, 3]. После стандартных преобразований в вариационном функционале следуют уравнения колебаний в дифференциальной форме

$$\frac{1}{A_2} \left[\frac{\partial}{\partial s} (A_2 T_{11}) - \frac{\partial A_2}{\partial s} T_{22} \right] + P_1 = \rho h \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + \sum_{j=1}^J \rho_j F_j \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \pm h_{cj} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} \right) \Bigg|_{s=s_j} \quad (3)$$

$$\frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s} (A_2 \bar{T}_{13}) - k_2 T_{22} - k_{2j} T_{22j} \Bigg|_{s=s_j} - C_1 u_3 + P_3 = \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} + \sum_{j=1}^J \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} \Bigg|_{s=s_j},$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{A_2} \left[\frac{\partial}{\partial s} (A_2 M_{11}) - \frac{\partial A_2}{\partial s} M_{22} \right] - T_{13} + m_1 &= \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} + \\ &+ \sum_{j=1}^J \rho_j F_j \left[\pm h_{cj} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + \left(h_{cj}^2 + \frac{I_{crj}}{F_j} \right) \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} \right] \Bigg|_{s=s_j}. \end{aligned}$$

В уравнениях (3) ρ, ρ_j – плотности материалов оболочки и соответствующего j -го ребра; F_j, I_{crj} – геометрические параметры j -го ребра; P_1, P_3, m_1 – компоненты обобщенного вектора нагрузки.

Величины усилий – моментов выражаются через соответствующие величины деформаций согласно формул [3]

$$T_{11} = B_{11}(\varepsilon_{11} + \nu_{21}\varepsilon_{22}), \quad T_{22} = B_{22}(\varepsilon_{22} + \nu_{12}\varepsilon_{11}), \quad (4)$$

$$T_{13} = B_{13}k^2\varepsilon_{13}$$

$$M_{11} = D_{11}(\kappa_{11} + \nu_{21}\kappa_{22}), \quad M_{22} = D_{22}(\kappa_{22} + \nu_{12}\kappa_{11}),$$

$$T_{22j} = B_{22j}\varepsilon_{22j}.$$

Уравнения колебаний (3), (4) дополняются соответствующими граничными условиями (в усилиях и перемещениях) и нулевыми начальными условиями.

Численный алгоритм. Численный алгоритм основан на конечно-разностной аппроксимации исходных уравнений колебаний (3), (4) с применением интегро-интерполяционного метода построения конечно-разностных схем по пространственной координате s и явной конечно-разностной аппроксимации по временной координате t [4]. Ищется решение в гладкой области и склеивается на линиях пространственных разрывов (линии расположения ребер) [3].

Числовые результаты. Рассмотрена задача динамического поведения подкрепленной конической оболочки на упругом основании Винклера. Предполагалось, что торцы оболочки жестко заземлены в сечениях $s = s_0$ и $s = s_N$ и имеют место следующие граничные условия $u_1 = u_3 = \varphi_1 = 0$. Начальные условия нулевые.

К внутренней поверхности конической оболочки прилагается распределенная нагрузка вида

$$P_3(\alpha_1, t) = A \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)],$$

где A – амплитуда нагрузки; T – длительность нагрузки.

Задача решалась при следующих геометрических и физико-механических параметрах: $s_0 = 0$, $s_N = 0,4$ м; $R_0/h = 60$; $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па; $\rho = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³; $\nu = 0,3$; $A = 10^6$ Па; $T = 50 \cdot 10^{-6}$ с. Коэффициент постели полагался $c_1 = 0,25 \cdot 10^8$ н/м³ [4]. Ребра расположены в точках $s_j = 0,1Lj$, $j \in \overline{1,3}$; $L = s_N - s_0$.

Численные расчеты проводились на временном интервале $t = 20T$. На рисунках 1 и 2 приведены кривые величин u_3 и σ_{22} в зависимости от пространственной координаты s и угла конусности β в момент времени $t = 4T$. Кривая 1 на рисунках 1 и 2 отвечает указанным зависимостям для случая $\beta = \pi/6$, кривая 2 – $\beta = \pi/12$. Как видно из графического материала, четко проявляется влияние подкрепляющих элементов ($s_j = 0,1Lj$, $j \in \overline{1,3}$; $L = s_N - s_0$) на напряженно-деформированное состояние неоднородной конструкции на упругом основании. Был проведен сравнительный анализ числовых результатов по поведению подкрепленной конической оболочки на упругом основании и без его учета. Различие результатов по величинам u_3 и σ_{22} в амплитудном и частотном диапазонах начинают сказываться со времени $t = 2T$. Аналогичный сравнительный анализ числовых результатов по поведению гладкой конической оболочки на упругом основании и без его учета показывает, что различие результатов в амплитудном и частотном диапазонах начинает сказываться со времени $t = 4T$.

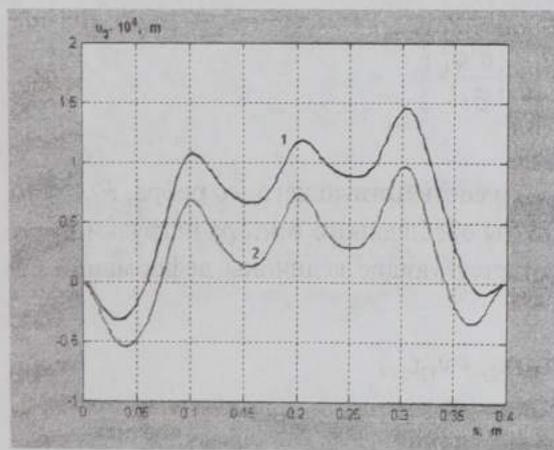


Рисунок 1

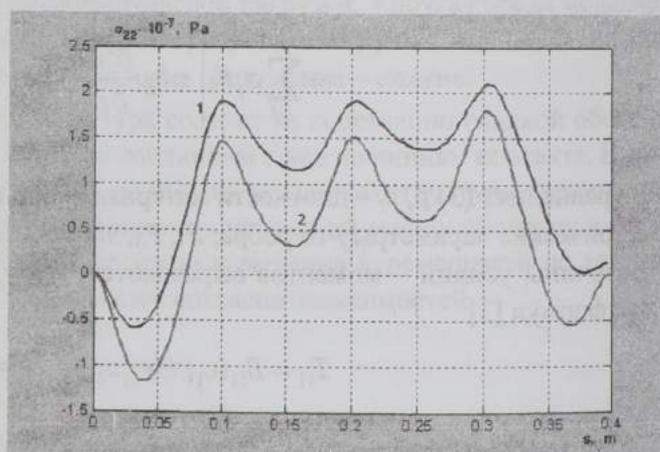


Рисунок 2

Работа выполнена согласно проекту Ф.53.1/023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Амиро, В. А. Динамика ребристых оболочек / В. А. Амиро, В. А. Заруцкий, В. Г. Паламарчук. – Киев: Наук. думка, 1983. – 204с.
- 2 Вестняк, А. В. Нестационарное взаимодействие деформируемых тел с окружающей средой / А. В. Вестняк, А. Г. Горшков, Д. В. Тарлаковский // Итоги науки и техники. Механика деформируемого твердого тела. – Т. 15, 1983. – С. 69–148.
- 3 Луговой, П. З. Нестационарная динамика неоднородных оболочечных конструкций / П. З. Луговой, В. Ф. Мейш, Э. А. Штанцель. – К.: Изд. Полигр. центр «Киевский ун-т», 2005. – 536 с.
- 4 Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 764 с.