

$$-\frac{\gamma_1 q_0}{2\beta^2} H_0(a-r) \left[\frac{a^2}{r} - r + 2a(K_1(\beta a)I_1(\beta r) - I_1(\beta a)K_1(\beta r)) \right] + \frac{C_1 \gamma_1}{\beta^2 r}.$$

Прогиб $w(r)$ и радиальное перемещение $u(r)$ круговой трехслойной пластины под действием кольцевой нагрузки:

$$w = \frac{1}{b_3} \left[b_2 \left(\frac{C_2}{\beta} I_0(\beta r) + \int \psi_r dr \right) - \int \left(\frac{a_2}{a_1} L_2^{-1}(p) - L_3^{-1}(q) \right) dr + \frac{C_3 r^2}{4} + C_4 \right],$$

$$u = \frac{a_3}{a_1 a_6 - a_3^2} \left[L_3^{-1}(q) - \frac{a_6}{a_3} L_2^{-1}(p) + \left(a_5 - \frac{a_2 a_6}{a_3} \right) \psi + C_7 r \right],$$

где

$$\int L_3^{-1}(q) dr = q_0 \left[\frac{r^4 - 5b^4}{64} - \frac{b^4}{16} \ln\left(\frac{r}{b}\right) - \frac{b^2 r^2}{8} \ln\left(\frac{r}{b}\right) + \frac{b^2 r^2}{16} \right] H(b-r) -$$

$$- q_0 \left[\frac{r^4 - 5a^4}{64} - \frac{a^4}{16} \ln\left(\frac{r}{a}\right) - \frac{a^2 r^2}{8} \ln\left(\frac{r}{a}\right) + \frac{a^2 r^2}{16} \right] H(a-r),$$

$$\int \psi dr = \frac{C_2 I_0(\beta r)}{\beta} - \frac{C_3 K_0(\beta r)}{\beta} + \frac{C_1 \gamma_1}{\beta^2} \ln(r) + \frac{\gamma_1 q_0}{2\beta^2} H_0(b-r) \times$$

$$\times \left[\frac{b^2 - r^2}{2} + b^2 \ln\left(\frac{r}{b}\right) + \frac{2b}{\beta} (K_1(\beta b)I_0(\beta r) + I_1(\beta b)K_0(\beta r)) - \frac{2}{\beta^2} \right] - \frac{\gamma_1 q_0}{2\beta^2} \times$$

$$\times H_0(a-r) \left[\frac{a^2 - r^2}{2} + a^2 \ln\left(\frac{r}{a}\right) + \frac{2a}{\beta} (K_1(\beta a)I_0(\beta r) + I_1(\beta a)K_0(\beta r)) - \frac{2}{\beta^2} \right].$$

Константы интегрирования при шарнирном опирании контура:

$$C_4 = \frac{b_2}{b_3} \left(-\frac{C_2 I_0(\beta)}{\beta} + \frac{C_3 K_0(\beta)}{\beta} \right) - \frac{1}{4b_3} (C_1 + C_5),$$

$$C_5 = q_0 \frac{a_3^2 - a_1 b_3 + a_7 a_1}{4a_1(a_6 + a_7)} \left(b^2 \left(1 - \frac{b^2}{2} \right) - a^2 \left(1 - \frac{a^2}{2} \right) \right) - \frac{6b_3}{a_6 + a_7} \sum_{k=1}^3 \alpha_{0k} \int_{h_k} K_k T_k z dz,$$

$$C_7 = \frac{2a_3}{a_1(a_6 + a_7)} \left(3 \sum_{k=1}^3 \alpha_{0k} \int_{h_k} K_k T_k z dz + \frac{q_0 b^2}{4} \left(1 - \frac{b^2}{2} \right) - \frac{q_0 a^2}{4} \left(1 - \frac{a^2}{2} \right) \right),$$

Численные расчеты показали существенное влияние температуры на перемещения в пластине.
Работа выполнена при финансовой поддержке БР ФФИ (проект Т18Р-090).

УДК 539.37

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОТВЕРСТИЙ В НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ КОМПОЗИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Е. А. СТОРОЖУК, В. А. МАКСИМЮК, И. С. ЧЕРНЫШЕНКО
Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Тонкие цилиндрические оболочки, как несущие элементы современных конструкций, находят широкое применение в авиа- и судостроении, ракетостроении, химическом и нефтяном машиностроении, на транспорте. В большинстве случаев эти элементы по конструктивным или технологическим соображениям имеют отверстия различной формы.

Рассмотрим тонкую цилиндрическую оболочку радиуса R и толщины h , которая изготовлена из ортотропного композитного материала (КМ) и ослаблена двумя или большим количеством прямоугольных отверстий (рисунок 1). Отнесем оболочку к ортогональной системе координат (x, y, γ) , где x, y, γ – длины образующей, направляющей и нормали к срединной поверхности оболочки.

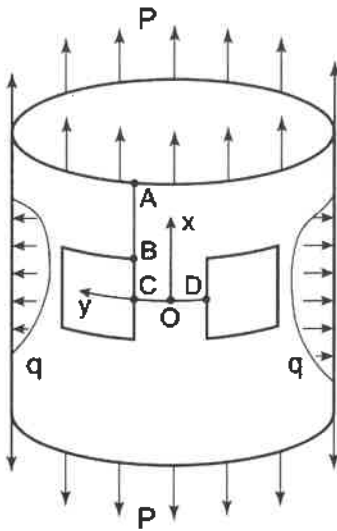


Рисунок 1 – Цилиндрическая оболочка с прямоугольными отверстиями

Геометрические соотношения представим в векторной форме согласно теории непологих оболочек, в которой имеют место гипотезы Кирхгофа-Лява:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \cdot \bar{e}_x; & \varepsilon_{22} &= \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \cdot \bar{e}_y; & \varepsilon_{12} &= \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \cdot \bar{e}_y + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \cdot \bar{e}_x; \\ \mu_{11} &= -\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial x} \cdot \bar{e}_x; & \mu_{22} &= -\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial y} \cdot \bar{e}_y; & 2\mu_{12} &= -\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial x} \cdot \bar{e}_y - \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial y} \cdot \bar{e}_x; \end{aligned} \quad (1)$$

$$e_{11} = \varepsilon_{11} + \gamma \mu_{11}; \quad e_{22} = \varepsilon_{22} + \gamma \mu_{22}; \quad e_{12} = \varepsilon_{12} + 2\gamma \mu_{12},$$

где ε_{ij} и μ_{ij} – компоненты мембранной и изгибной деформаций оболочки; $\bar{u} = u\bar{e}_x + v\bar{e}_y + w\bar{n}$ – вектор перемещений точек срединной поверхности; $\bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{n}$ – орты ортогональной системы координат (x, y, γ) ; $\bar{\varphi} = \varphi_x \bar{e}_x + \varphi_y \bar{e}_y$ – вектор углов поворота касательных к координатным линиям, которые определяются по формулам: $\varphi_x = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \cdot \bar{n}$; $\varphi_y = \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \cdot \bar{n}$.

Предполагая, что нагружение простое, воспользуемся нелинейными физическими соотношениями деформационной теории пластичности анизотропных сред:

$$\begin{aligned} e_{11} &= \left(\frac{1}{E_{11}} + \Psi q_{1111} \right) \sigma_{11} + \left(-\frac{\nu_{12}}{E_{22}} + \Psi q_{1122} \right) \sigma_{22}; \\ e_{22} &= \left(-\frac{\nu_{21}}{E_{11}} + \Psi q_{2211} \right) \sigma_{11} + \left(\frac{1}{E_{22}} + \Psi q_{2222} \right) \sigma_{22}; \\ e_{12} &= \left(\frac{1}{G_{12}} + 4\Psi q_{1212} \right) \sigma_{12}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $E_{11}, E_{22}, G_{12}, \nu_{12}, \nu_{21}$ – упругие постоянные КМ; $q_{1111}, q_{2222}, q_{1122}, q_{1212}$ – компоненты тензора, учитывающего анизотропию нелинейных свойств композита; Ψ – функция, описывающая нелинейное деформирование материала.

Систему разрешающих уравнений получим из принципа возможных перемещений с использованием метода дополнительных напряжений и метода конечных элементов.

В качестве числового примера представим результаты исследования нелинейно-упругого состояния ортотропной цилиндрической оболочки радиуса $R/h=100$, ослабленной двумя одинаковыми квадратными отверстиями со стороны $a/h=20$. Длина оболочки составляет $L/h=200$, а расстояние между контурами отверстий (длина перемычки CD) при выполнении расчетов изменялось в пределах $10 \leq d/h \leq 80$. Оболочка изготовлена из слоистого органопластика, в котором в качестве армирующего наполнителя используют жгут СВМ и связующего – эпоксидную смолу ЭДТ-10.

На рисунке 2 показана зависимость максимальных осевых напряжений $\tilde{\sigma}_{\max}$ ($\sigma_{\max} = \tilde{\sigma}_{\max} \cdot 10^5$ Па) от приведенной длины перемычки $\tilde{d} = d/a$ при действии на торцах оболочки растягивающих усилий интенсивности $\tilde{P} = 1400$ ($P/h = \tilde{P} \cdot 10^5$ Па). Пунктирная кри-

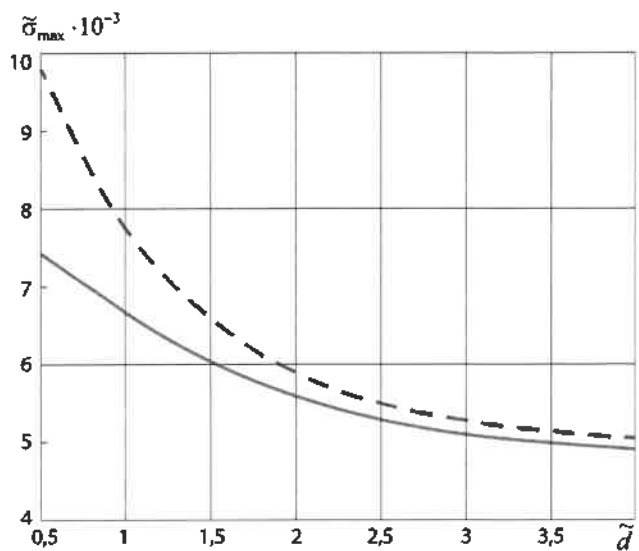


Рисунок 2 – Зависимость максимальных напряжений от длины перемычки

вая соответствует решению линейно-упругой задачи (ЛЗ), а сплошная – решению нелинейной задачи (НЗ).

Из полученных результатов следует, что наибольшие напряжения в оболочке имеют место в угловой точке В на внешней поверхности. С уменьшением длины перемычки наибольшие напряжения увеличиваются в 2,8 раза как для ЛЗ, так и НЗ. Учет физической нелинейности приводит к уменьшению максимальных напряжений по сравнению с результатами линейно-упругого решения, соответственно, на 19,2 % для $\tilde{d} = 0,5$, на 5,5 % для $\tilde{d} = 2,0$ и на 2,8 % для $\tilde{d} = 4,0$.

Анализ представленных результатов также позволяет сделать вывод о том, что при исследовании напряженно-деформированного состояния композитных цилиндрических оболочек, ослабленных двумя квадратными отверстиями, с учетом нелинейных свойств материала для длины перемычки, превышающей четыре длины стороны отверстия, взаимным влиянием контуров отверстий можно пренебречь.

УДК 656.11

К ВОПРОСУ О МАКРОСКОПИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В МЕГАПОЛИСАХ

*И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ, Ш. Б. КАБДУШЕВ, К. Н. КАДЫРЖАН, В. Н. ЕВСТИФЕЕВ, Е. С. ВИТУЛЁВА
НАО «Алматинский университет энергетики и связи», Казахстан*

С изменением экономической модели в крупных городах постсоветского пространства возникла вполне определенная проблема, связанная с возникновением многочисленных заторов на дорогах. В таком городе, как Алматы резкая интенсификация автомобильного движения приводит к многочисленным негативным последствиям, к числу которых относится резкое увеличение аварийности, а также загрязнение воздушного бассейна. Для регулирования автомобильного движения в Алматы предпринимаются самые различные меры: строятся новые развязки, расширяются существующие магистрали, в последние годы часть улиц в центре города были сделаны односторонними.

Однако все эти меры не приводят к кардинальному изменению ситуации. В связи с этим проблема регулирования, в том числе и макроскопического, транспортных потоков остается более чем актуальной.

Одно из предложений, которое было высказано уже давно, связано с индивидуальными действиями водителей, нацеленными на выбор ими оптимального маршрута. Действительно, современные навигационные системы в сочетании с картами, отражающими реальную обстановку на дорогах, позволяют выбрать маршрут, оптимальный не только с точки зрения географии, но и с точки зрения реальной загруженности трассы. При условии, что оптимизация осуществляется в массовом порядке, существует возможность оптимизировать транспортный поток в целом. Однако существующие системы, обеспечивающие сбор информации на дорогах, обладают целым рядом недостатков. Во-первых, сбор информации происходит с использованием не вполне надежных источников, а во-вторых, эти системы не обеспечивают прогнозирование загруженности улично-дорожной сети с горизонтом хотя бы в одни сутки.

В настоящей работе показано, что существует возможность для системного решения этой проблемы на основе той информации, которая может быть собрана при помощи сведений, которые уже находятся в распоряжении операторов сотовой связи. Действительно, операторы сотовой связи фактически отслеживают перемещение любого из абонентов, как минимум в части перемещения абонента из одной соты в другую; в противном случае невозможно было бы определить соту, в которой абонент находится в данный момент, и обеспечить связь с ним.

Поскольку размеры сот в настоящее время являются достаточно малыми, то фиксация перехода абонента из одной соты в другую фактически означает, что отслеживается его перемещение в пределах города. Учитывая, что данная информация может быть получена в течение достаточно длительного времени, то есть характер перемещения каждого абонента по городу де-факто известен,