

М. В. Спасская, А. А. Треццев

ТЕРМОУПРУГОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕСЯ МАТЕРИАЛА

Тульский государственный университет, г. Тула

Аннотация. В представленной статье рассматривается термоупругая задача для круговой цилиндрической оболочки, выполненной из разносопротивляющегося материала, обладающего свойством структурной анизотропии. Для конкретизации структурной анизотропии материала оболочки принято ортотропное тело. Задача рассматривается в несвязанной постановке, т. е. она распадается на две независимые задачи: механики сплошной среды и термодинамики. В работе проводится исследование оболочки в рамках теории пологих оболочек. Решение задачи строится на основании технических гипотез Кирхгофа–Лява. В качестве физических зависимостей применяются соотношения, предложенные в работах А. А. Треццева. Основные соотношения записаны по типу уравнений, используемых в форме метода упругих решений А. А. Ильюшина. Процесс теплопередачи описывается классическим уравнением теплопроводности. В статье приведена система разрешающих уравнений поставленной задачи в симплексном виде, дополняющая начальными и граничными условиями.

В задаче оболочка воспринимает равномерно распределенную нагрузку, приложенную перпендикулярно к ее внутренней поверхности, также оболочка подвержена температурному воздействию в виде разности температур на внутренней и внешней поверхности. Оболочка исследуется в момент времени, когда распределение температуры установилось. В статье приведено решение конкретной задачи термоупругого изгиба тонкостенной круговой цилиндрической оболочки, выполненной из трехармированного тканого полимера. Показаны некоторые наиболее характерные результаты исследования напряженно-деформированного состояния оболочки: прогибы срединной поверхности, осевые и окружные напряжения. Проведено сравнение результатов расчета с учетом и без учета температурного воздействия. Выполнен анализ учета влияния температурной нагрузки на напряженно-деформированное состояние цилиндрической оболочки.

Ключевые слова: разносопротивляемость, анизотропия, термоупругость, несвязанная задача, цилиндрическая оболочка, разрешающие уравнения.

УДК: 539.38:539.377

В современном строительстве и промышленности все больше используются новые конструкционные материалы. Зачастую материалы по разным направлениям имеют физико-механические свойства, отличные друг от друга. Материалы, обладающие такой особенностью, принято называть анизотропными. Часто данные материалы не соответствуют классическим представлениям об упругом деформировании. Характерной чертой этих материалов является зависимость деформационных и прочностных характеристик от вида напряженного состояния. Подобная зависимость обнаружена не только у новых материалов, используемых в технике, каковыми являются различные композитные составы, полимеры, графиты,

стеклопластики, но и у традиционных конструкционных материалов типа чугуна, бетонов и керамики. Такие материалы приято называть разносопротивляющимися. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов – относительно молодая ветвь механики деформируемого твердого тела. Классические теории не могут правильно оценить напряженно-деформированное состояние конструкций из материалов, обладающих указанными особенностями. При этом в настоящее время в химической промышленности, строительстве, машино- и авиастроительных отраслях все больше применяются особо ответственные конструкции. Именно поэтому необходимы надежные теории расчета, согласованные с экспериментальными данными.

Рассматриваемые материалы имеют достаточно большие модули упругости и прочностные характеристики, поэтому их часто используют в тонкостенных конструкциях, таких как пластины и оболочки. Направленность на применение конструкционных материалов, обладающих свойствами анизотропии и разносопротивляемости, а также требование минимальности собственного веса конструкций приводит к необходимости использования нелинейных теорий расчета конструкций. Благодаря этому появляется необходимость применения численных методов с последующей реализацией их на компьютерной технике.

Также совершенно недостаточно внимания уделено учету влияния температурного воздействия на напряженно-деформированное состояние конструкций из материалов с усложненными свойствами. Рассмотрение задач термоупругости для анизотропных разносопротивляющихся материалов в настоящее время носит хаотичный характер, а так как новые конструкции работают при все более высоких температурах, то систематическое исследование задач термоупругости анизотропных разносопротивляющихся материалов очень важно в рамках современной механики деформируемого твердого тела и ее практических приложений.

Таким образом, можно сделать вывод, что учет свойств анизотропии и разносопротивляемости материалов, а также изучение влияния температурного воздействия на напряженно-деформированное состояние оболочек является актуальной задачей как в научном, так и в прикладном плане.

Для большого класса разносопротивляющихся анизотропных материалов эффект связности полей деформаций и температур мал. Таким образом, при обычной теплопередаче, происходящей в неравномерно нагретом теле за счет теплового воздействия окружающей среды, влиянием деформаций тела на распределение в нем температуры можно пренебречь. Это позволяет исследовать температурное поле в твердом теле, соответствующее определенным условиям теплопередачи, независимо от деформированного состояния тела. Поэтому для многих конструкционных материалов рационально рассматривать несвязанную задачу термоупругости.

Рассматривается круговая цилиндрическая оболочка из ортотропного разносопротивляющегося материала [1]. Главные оси ортотропии совпадают с осями главных напряжений. Положение любой точки оболочки определяется в гауссовой системе координат $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Местоположение любой точки на срединной поверхности оболочки определяется координатами β_1 и β_2 . Примем, что изменение температуры в оболочке происходит только по ее толщине, чтобы разность температур на внутренней и наружной поверхностях ΔT являлась функцией от координаты β_3 . Геометрические характеристики оболочки: высота L , толщина h , радиус срединной поверхности оболочки R . Один торец цилиндрической оболочки при $\beta_1 = 0$ полностью закреплен, а другой торец при $\beta_1 = L$ свободен от закреплений и механической нагрузки. На оболочку действует разность температур: температура внутренней T_1 и наружной T_2 , а также равномерно распределенная нагрузка q_3 , приложенная ко внутренней поверхности оболочки.

Будем рассматривать конструкцию в рамках теории пологих оболочек, в которой используются следующие зависимости:

а) компоненты деформации в срединной поверхности (относительные удлинения и сдвиги) при конечных прогибах:

$$\varepsilon_1 = u_{,1} + 0.5\theta_1^2; \quad \varepsilon_2 = v_{,1} + kw + 0.5\theta_2^2; \quad \gamma = v_{,1} + u_{,2} + \theta_1\theta_2, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — относительные удлинения; γ — относительный сдвиг; u, v, w — осевые, касательные и радиальные перемещения; $k = 1/R$ — главная кривизна; θ_1, θ_2 — повороты нормали к срединной поверхности:

$$\theta_1 = -w_{,1}; \quad \theta_2 = -w_{,2} + kv; \quad (2)$$

б) компоненты изгибной деформации (изменения кривизн и кручение):

$$\chi_1 = -w_{,11}; \quad \chi_2 = -w_{,22}; \quad \tau = -w_{,12}. \quad (3)$$

где χ_1, χ_2 — кривизны; τ — кручение;

в) компоненты деформации точки оболочки, отстоящей на расстоянии β_3 от срединной поверхности, выраженные через компоненты тангенциальных и изгибных деформаций:

$$e_{11} = \varepsilon_1 + \beta_3\chi_1; \quad e_{22} = \varepsilon_2 + \beta_3\chi_2; \quad \gamma_{12} = \gamma + 2\beta_3\tau. \quad (4)$$

Выражения (1)–(4) являются кинематическими соотношениями. Они справедливы для теории пологих оболочек в квадратичном приближении при малых упругих деформациях.

Примем оболочку достаточно тонкой, чтобы использование традиционных технических гипотез Кирхгофа–Лява не вызывало сомнений:

1) нормаль к срединной поверхности после деформации остается перпендикулярной к деформированной срединной поверхности;

2) при определении параметров напряженного состояния влиянием нормальных напряжений σ_3 можно пренебречь.

Чтобы получить уравнения, учитывающие температурное воздействие, к ним необходимо добавить соответствующие компоненты температурных деформаций.

В качестве физических зависимостей будем использовать соотношения, предложенные в работе А. А. Трещева [2]. Для конкретизации структурной анизотропии материала оболочки принято ортотропное тело.

С учетом принятых гипотез и при совпадении осей цилиндрической системы координат с главными осями анизотропии физические зависимости запишем в виде:

$$\begin{aligned} e_{11} &= (A_{1111} + B_{1111}\alpha_{11})\sigma_{11} + [A_{1122} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})]\sigma_{22} + \alpha_{1T}\Delta T; \\ e_{22} &= [A_{1122} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})]\sigma_{11} + (A_{2222} + B_{2222}\alpha_{22})\sigma_{22} + \alpha_{2T}\Delta T; \\ e_{12} &= (A_{1212} + B_{1212}\sqrt{2}\alpha_{12})\tau_{12}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $A_{kkkk}, B_{kkkk}, A_{iiji}, B_{iiji}, A_{ijij}, B_{ijij}$ — константы, зависящие от модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации материала; $\alpha_{ij} = \sigma_{ij}/S$ — нормированные напряжения; $S = \sqrt{\sigma_{ij}\sigma_{ij}}$ — модуль вектора полных напряжений; α_{1T}, α_{2T} — коэффициенты линейного теплового расширения.

Вычисление констант определяющих соотношений для ортотропных материалов рекомендовано выполнять по результатам простейших экспериментов на одноосное растяжение и одноосное сжатие вдоль главных осей анизотропии, из экспериментов на сдвиг в главных плоскостях или из экспериментов по одноосному растяжению и одноосному сжатию в направлениях, ориентированных под углом 45° к главным осям анизотропии [2]. При этом константы для ортотропного тела вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} A_{kkkk} &= (1/E_k^+ + 1/E_k^-)/2; & B_{kkkk} &= (1/E_k^+ - 1/E_k^-)/2; \\ A_{iiji} &= -(\nu_{ij}^+/E_j^+ + \nu_{ij}^-/E_j^-)/2; & B_{iiji} &= -(\nu_{ij}^+/E_j^+ - \nu_{ij}^-/E_j^-)/2; \\ A_{ijij} &= (1/E_{ij}^+ + 1/E_{ij}^-) - 0.25 \left[\begin{array}{l} (1/E_i^+ + 1/E_j^+ + 1/E_i^- + 1/E_j^-) - \\ -2(\nu_{ji}^+/E_i^+ + \nu_{ji}^-/E_i^-) \end{array} \right]; \\ B_{ijij} &= \sqrt{2}(1/E_{ij}^+ - 1/E_{ij}^-) - 0.125 \cdot \sqrt{2} \cdot \left[\begin{array}{l} (1/E_i^+ + 1/E_j^+ - 1/E_i^- - 1/E_j^-) - \\ -4(\nu_{ji}^+/E_i^+ - \nu_{ji}^-/E_i^-) \end{array} \right], \end{aligned}$$

где $\nu_{ij}^+/E_j^+ = \nu_{ji}^+/E_i^+$; $\nu_{ij}^-/E_j^- = \nu_{ji}^-/E_i^-$; E_k^\pm , E_j^\pm – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях, соответствующих главным осям анизотропии; ν_{ij}^\pm , ν_{ji}^\pm – коэффициенты поперечной деформации при растяжении и сжатии в направлениях, соответствующих главным осям анизотропии; E_{ij}^\pm – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях под углом 45° к соответствующим главным осям анизотропии.

Преобразовав физические зависимости по типу уравнений, используемых в форме метода упругих решений А. А. Ильютина [3], и выразив напряжения через деформации, получим:

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= C_{11}e_{11} + C_{12}e_{12} - R_{11} - \varphi_{1T}; \\ \sigma_{22} &= C_{12}e_{11} + C_{22}e_{12} - R_{22} - \varphi_{2T}; \\ \tau_{12} &= C_{66}e_{12} - R_{12},\end{aligned}\quad (6)$$

где $C_{11} = A_{2222}/\Delta$; $C_{12} = -A_{1122}/\Delta$; $C_{22} = A_{1111}/\Delta$; $C_{66} = 1/A_{1122}$; $R_{12} = T_{12}/A_{1122}$; $T_{11} = B_{1111}\alpha_{11}\sigma_{11} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})\sigma_{22}$; $T_{12} = B_{1122}\sqrt{2}\alpha_{12}\tau_{12}$; $T_{22} = B_{2222}\alpha_{22}\sigma_{22} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})\sigma_{11}$; $\varphi_{1T} = C_{11}\alpha_{1T}\Delta T + C_{12}\alpha_{2T}\Delta T$; $\varphi_{2T} = C_{12}\alpha_{1T}\Delta T + C_{22}\alpha_{2T}\Delta T$; $\Delta = A_{1111}A_{2222} - A_{1122}^2$.

Принимая за основу те или иные определяющие соотношения, мы не вносим изменений в соотношения статико-геометрической природы. Таким образом, остаются справедливыми основные положения и зависимости геометрически нелинейной теории анизотропных оболочек. Внутренние усилия и моменты приводятся к срединной поверхности $\beta_3 = 0$, и с учетом условия $\beta_3 k \ll 1$ уравнения равновесия для пологих оболочек определяются соотношениями:

$$\begin{aligned}N_{1,1} + S_{,2} + q_1 &= 0; \quad N_{2,2} + S_{,1} + k(Q_2 + H_{,1}) + q_2 = 0; \\ M_{1,1} + H_{,2} - Q_1 - N_1\theta_1 - S\theta_2 &= 0; \quad M_{2,2} + H_{,1} - Q_2 - N_2\theta_2 - S\theta_1 = 0; \\ Q_{1,1} + Q_{2,2} + kN_2 + q_3 &= 0,\end{aligned}\quad (7)$$

где N_k , S – усилия в срединной поверхности оболочки; Q_k – поперечные силы; M_k , H – изгибающие и крутящие моменты; q_m – интенсивности внешней нагрузки по соответствующим направлениям.

Поскольку переход от напряжений к их интегральным характеристикам – усилиям и моментам не зависит от физической природы материала, эти характеристики определим обычным способом:

$$N_k = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{kk} d\beta_3; \quad M_k = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{kk} \beta_3 d\beta_3. \quad (8)$$

Уравнения совместности деформаций приводятся к виду:

$$k\chi_1 + \chi_1\chi_2 - \tau^2 - \gamma_{12} + \varepsilon_{1,22} + \varepsilon_{2,11} = 0. \quad (9)$$

В задаче оболочки воспринимает нагрузку в виде внутреннего давления q_3 . С учетом симметрии рассматриваемой задачи все параметры напряженно-деформированного состояния будут зависеть только от координат β_1 и β_3 . Поэтому кинематические (1)–(4), статические (7) зависимости, а также уравнение перенапряженности (9) принимают вид:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= u_{,1} + 0,5\theta_1^2; \quad \varepsilon_2 = kw; \quad \chi_1 = -w_{,11}; \\ e_{11} &= \varepsilon_1 + \beta_3\chi_1; \quad e_{22} = \varepsilon_2; \\ N_{1,1} &= 0; \quad M_{1,1} - Q_1 - N_1\theta_1 = 0; \quad Q_{1,1} - kN_2 + q_3 = 0; \\ k\chi_1 + \varepsilon_{2,11} &= 0.\end{aligned}\quad (10)$$

Проинтегрируем соотношения для напряжений (6) по толщине оболочки в соответствии с правилами (8) и подставим получившиеся зависимости в уравнения равновесия (10). Кроме того, используя уравнение перенапряженности деформаций, окончательно получаем систему двух дифференциальных уравнений в смешанном виде относительно неизвестных угла поворота и продольной силы в тангенциальном направлении:

$$\begin{cases} \theta_{1,1} + RL_{22}N_{2,11} = -RH_{2,11} - RH_{2T,11}; \\ \theta_{1,11} - \frac{1}{RP_{11}}N_2 = -\frac{1}{P_{11}}q_3 + \frac{1}{P_{11}}J_{11,1} + \frac{1}{P_{11}}\chi_{1T,1} \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{где } L_{22} = \frac{C_{11}}{(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)h}; P_{11} = C_{11}h^3/12; H_2 = -\frac{C_{12}}{(C_{11}C_{22} - C_{12}^2) \cdot h} I_{11} + L_{22}I_{22}; H_{2T} = -\frac{C_{12}}{(C_{11}C_{22} - C_{12}^2) \cdot h} \varepsilon_{1T} + L_{22}\varepsilon_{2T}; I_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} R_{ij}d\beta_3; J_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} R_{ij}\beta_3d\beta_3; \varepsilon_{iT} = \int_{-h/2}^{h/2} \varphi_{iT}d\beta_3; \chi_{iT} = \int_{-h/2}^{h/2} \varphi_{iT}\beta_3d\beta_3.$$

Граничные условия жесткого закрепления: $\theta_1 = 0; \varepsilon_1 = 0; \varepsilon_2 = 0$.

Для определения температурных компонент в уравнении (11) следует отдельно рассмотреть задачу о передаче тепла через поверхность оболочки. Процесс теплоизменения описывается классическим уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \omega_1 \cdot T_{,11} + \omega_2 \cdot T_{,22} + \omega_3 \cdot T_{,33},$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – коэффициенты температуропроводности, характеризующие теплоизменительные свойства тела по направлениям.

Наиболее часто встречающиеся на практике задачи связаны со стационарным одномерным температурным полем. В этом случае температура зависит только от одной координаты (например β_3) – нормали к изотермическим поверхностям. В компактной форме для одномерного случая уравнение теплопроводности записывается в виде: $T_{,t} = \omega_3 T_{,33}$, где t – текущее время; $\omega_3 = \lambda/c$ – коэффициент температуропроводности, характеризующий теплоизменительные свойства тела; λ – коэффициент теплопроводности; c – удельная объемная теплосъемка тела.

Так как рассматривается достаточно тонкая оболочка и коэффициент температуропроводности материалов относительно велик, то установление линейного распределения температуры по толщине оболочки наступает достаточно быстро в течение короткого промежутка времени. В связи с этим, для данной задачи целесообразно рассматривать момент времени, когда распределение температуры установленось.

В определенный момент времени, когда будет наблюдаться установившееся температурное распределение по толщине оболочки, для вычисления перепада температур ΔT в любой точке по толщине можно воспользоваться линейным законом распределения температуры:

$$T(\beta_3) = (T_2 - T_1)\beta_3/h + (T_1 + T_2)/2 - T_0,$$

где T_1 – температура на внутренней поверхности оболочки; T_2 – температура на внешней поверхности оболочки; T_0 – начальная температура оболочки.

Так как задача является нелинейной, была проведена линеаризация полученных разрешающих дифференциальных уравнений, следуя методике последовательных нагрузений В. В. Петрова [4]. Полученные линеаризованные разрешающие дифференциальные уравнения достаточно сложны, поэтому для их решения следует прибегать к численным методам, из которых в данном случае наиболее просто реализуется метод конечных разностей [5] с привлечением двухшагового метода последовательного возмущения параметров [4].

Исследуем напряженно-деформированное состояние оболочки, исходная схема которой показана на рис. 1. Для решения задачи воспользуемся следующими исходными данными: толщина оболочки $h = 0.05$ м; радиус срединной поверхности оболочки $R = 0.5$ м; длина $L = 3.0$ м; нагрузка на оболочку равномерно распределенная $q = 8$ МПа. Температурный режим: передача тепла осуществляется благодаря теплопроводности оболочки; на внутренней поверхности оболочки температура поддерживается постоянной $T_1 = 0^\circ\text{C}$; на внешней поверхности оболочки температура также поддерживается постоянной $T_2 = +30^\circ\text{C}$; в начальный момент времени оболочка имеет температуру $T_0 = 0^\circ\text{C}$. Материал оболочки – трехармированный тканый полимер ПЗ2-57 [6] со следующими механическими характеристиками: модули упругости – $E_1^+ = 12,75$ ГПа, $E_1^- = 14,03$ ГПа, $E_2^+ = 16,425$ ГПа, $E_2^- = 20,6$ ГПа; коэффициенты поперечной деформации – $\nu_{12}^+ = 0,176$, $\nu_{12}^- = 0,194$. Температурные характеристики материала: коэффициенты линейного теплового расширения $\alpha_{1T} = 33 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\alpha_{2T} = 40 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ [7].

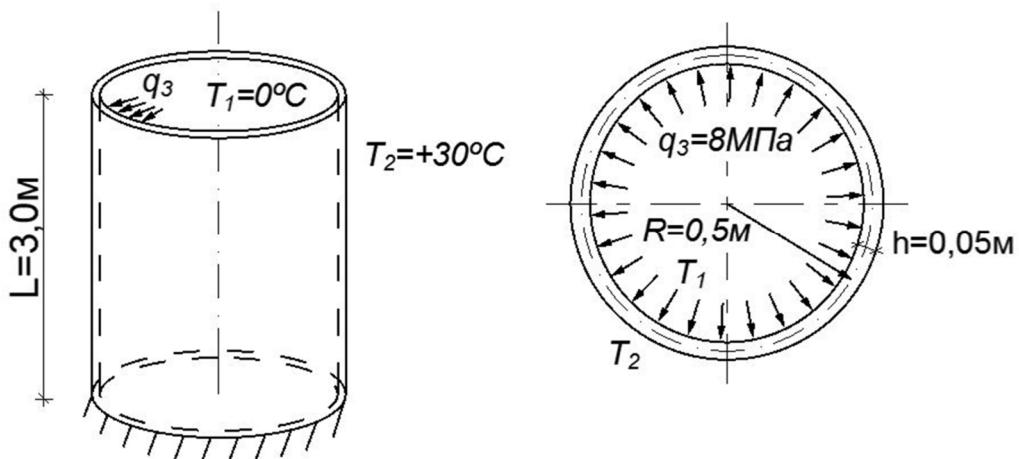


Рис. 1. Схема рассматриваемой задачи

На рис. 2–4 приведены некоторые наиболее характерные результаты расчета напряженно-деформированного состояния оболочки, описанной выше. Показаны решения, полученные по модели Трещева А. А. [2], с учетом температурного воздействия на цилиндрическую оболочку. Сплошной линией построены графики, полученные без учета температурного воздействия, пунктирной – с учетом.

Как видно из рис. 2, расхождение в значениях максимальных прогибов с учетом и без учета температурного воздействия составляет 21,4 %.

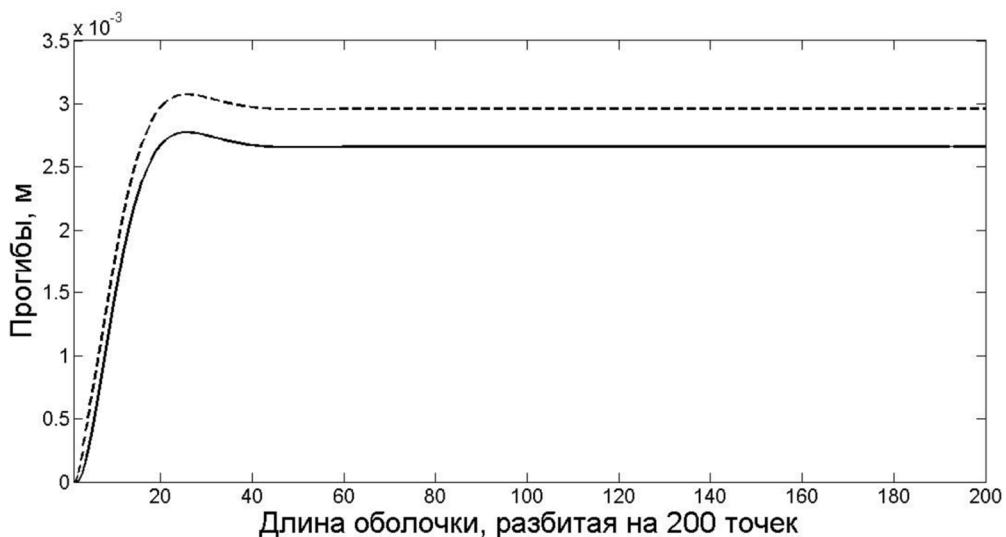


Рис. 2. Прогибы оболочки, м

Для напряжений на внутренней поверхности оболочки значения, полученные без учета температуры, и дашные, полученные с учетом температурного воздействия, равны. Это обусловлено тем, что температура на внутренней поверхности оболочки не менялась. В связи с этим стоит рассмотреть подробней напряжения на внешней поверхности оболочки (рис. 3).

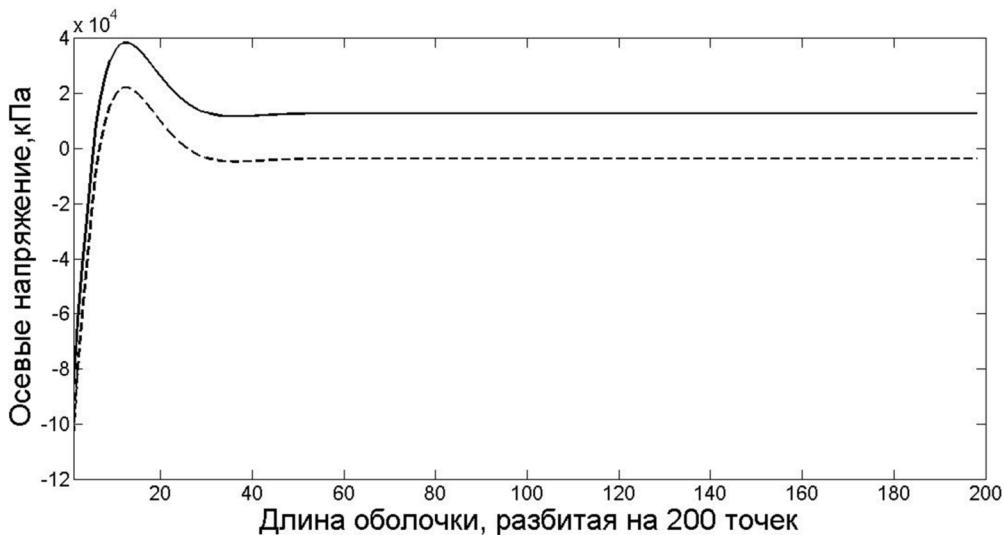


Рис. 3. Напряжения σ_{11} на внешней поверхности оболочки, кПа

Для осевых напряжений на внешней поверхности оболочки значения, полученные без учета температуры, в заделке меньше результатов, полученных с учетом температурного воздействия, на 19,5 %. Однако, для максимальных растягивающих напряжений значение без учета температуры превосходит результат, полученный с учетом температурного воздействия, на 42,1 %. Кроме того, на расстоянии $0,125L-L$ температурное воздействие вообще меняет знак напряжений.

Как показано на рис. 4, для окружных напряжений на внешней поверхности оболочки значения, полученные без учета температуры, в заделке в 2 раза меньше результатов, рассчитанных с учетом температурного воздействия. Для максимальных окружных напряжений на внешней поверхности оболочки значения с учетом температуры меньше на 23,8 %, чем без ее учета.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что учет температурного воздействия необходим для получения достоверных результатов расчета цилиндрических оболочек, т.к. вносит значительные поправки в картину напряженно-деформированного состояния конструкции.

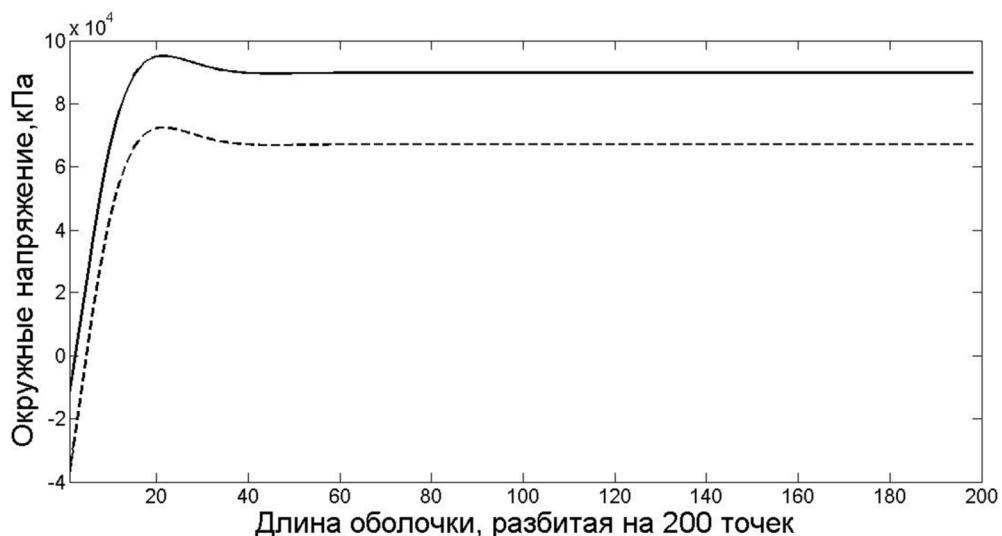


Рис. 4. Напряжения σ_{22} на внешней поверхности оболочки, кПа

ЛИТЕРАТУРА

[1] Спасская, М. В. Подход к решению термоупругой задачи для круговой цилиндрической оболочки из анизотропных разноопротивляющихся материалов / М. В. Спасская // Вестник магистратуры. – 2013. – № 7. – С. 63–65.

[2] Трещев, А. А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография. – М. ; Тула : РААСН ; ТулГУ, 2008. – 264 с.

[3] Ильюшин, А. А. Пластичность. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 271 с.

[4] Петров, В. В. Методы расчета конструкций из нелинейно деформируемого материала : учеб. пособие / В. В. Петров, И. В. Кривошепин М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 208 с.

[5] Варвак, П. М. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций / П. М. Варвак, Л. П. Варвак – М. : Стройиздат, 1977. – 160 с.

[6] Розе, А. В. Трехармированные тканевые материалы / А. В. Розе, И. Г. Жигулин, М. Н. Душин // Механика полимеров. – 1970. – № 3. – С. 471–476.

[7] Каргин, В. А. Энциклопедия полимеров. – М. : Советская энциклопедия, 1972. – Т. 1. – 1224 с.

Спасская Мария Владимировна,
аспирант, Тульский государственный университет, г. Тула

e-mail: ma71ruska@mail.ru

Трещев Александр Анатольевич,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, строительных материалов и конструкций, Тульский государственный университет, г. Тула

e-mail: taa58@yandex.ru

M. V. Spasskaya, A. A. Treschev

THERMOELASTIC DEFORMATION OF THE CYLINDRICAL SHELL MADE OF ANISOTROPIC DIFFERENT RESISTANT MATERIAL

Tula State University, Tula

Abstract. The article is devoted the thermoelastic problem for a circular cylindrical shell made of different resistance anisotropic material. To concretize the structural anisotropy of the shell material taken orthotropic body. The problem is considered in the unrelated setting: it splits into two independent problems: continuum mechanics and thermodynamics. In this article we study the shell in the theory of shallow shells. Solution of the problem is constructed on the basis of technical Kirchhoff-Love hypotheses. As a physical dependency are used ratios of A. A. Treschev. Basic relations recorded by type equations used in the form of the method of elastic solutions of A. A. Ilyushin. The process of heat transfer is described by the classical heat equation. The article describes the system of resolving equations of the problem in a mixed form, supplemented by initial and boundary conditions.

In the task the shell receives a uniformly distributed load applied perpendicular to the inner surface of the shell and the shell receives thermal effect, as the temperature difference on the inner and outer surface of the shell. Shell investigated at the time point when the temperature distribution is established. The article gives the solution to a specific task of thermoelastic bending of thin-walled circular cylindrical shell made of reinforced woven polymer. Shows some of the most typical results of a study of stress-strain state of the shell: shell deflection, axial and hoop stresses. A comparison of the calculated results with and without the effects of temperature. The analysis of the accounting impact of the thermal load on the stress-strain state of the cylindrical shell.

Keywords: different resistance, anisotropy, thermoelasticity, unrelated tasks, cylindrical shell, resolving equations.

REFERENCES

- [1] Spasskaya, M. V. Approach to the solution of thermoelastic problem for a circular cylindrical shell of anisotropic different resistance materials / M. V. Spasskaya // Bulletin of the Judiciary. – 2013. № 7. – P. 63–65. (in Russian)
- [2] Treschev, A. A. The Theory of Deformation and durabilities for the Materials, sensitive to a kind of an stress condition. Determining Correlations / A. A. Treschev. – M. ; Tula : RAACS ; TulSU, 2008. 264 p. (in Russian)
- [3] Ilyushin, A. A. Plasticity / A. A. Ilyushin. – M. : Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. – 271 p. (in Russian)
- [4] Petrov, V. V. Methods of structural analysis of nonlinear deformable material : Proc. allowance / V. V. Petrov, I. V. Krivoshein. – M. : Publishing Association building universities, 2009. - 208 p. (in Russian)
- [5] Varvak, P. M. The grid method in problems of calculation of building structures / P. M. Varvak, L. P. Varvak. – M. : Stroyizdat, 1977. – 160 p. (in Russian)
- [6] Rose, A. V. Threereinforced woven materials / A. V. Rose, I. G. Zhigulin, M. N. Dushyn // Mechanics of polymers. 1970. № 3. P. 471–476. (in Russian)
- [7] Kargin, V. A. Encyclopedia polymers / V. A. Kargin. – M. : Soviet Encyclopedia, 1972. – Vol. 1. – 1224 p. (in Russian)

Spasskaya, Maria Vladimirovna

Post-graduate student, Tula State University, Tula

Treshchev, Alexander Anatolyevich

Dr. Tech. Sci., Professor, Head of the Department of Construction, construction materials and designs, Tula State University, Tula