

ПОБУДОВА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ОРТОТРОПНОЇ НЕ ПРЯМОКУТНОЇ В ПЛАНІ ПОЛОГОЇ ОБОЛОНКИ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОГО ПІДХОДУ

Філь Є.В.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України,
evgeniy.fil87@gmail.com

Дослідження пологих оболонок із ортотропних матеріалів є актуальним завданням для розв'язання практичних задач у будівництві, машинобудуванні та авіаційній галузі. Однак традиційні підходи здебільшого обмежуються аналізом оболонок простої геометрії, зокрема прямокутної в плані. У цій роботі запропоновано розрахункову схему для аналізу ортотропних пологих оболонок довільної чотирикутної форми на основі дискретно-континуального підходу, яка поєднує геометричні особливості об'єкта та можливість врахування складних граничних умов.

За вихідні будемо приймати співвідношення уточненої теорії оболонок, що базується на гіпотезі прямолінійного елемента [1,2]

Основні рівняння для оболонок прямокутної форми включають рівняння рівноваги та співвідношення пружності для ортотропних матеріалів.

Отримано розв'язувальну систему рівнянь в матричній формі, у якій переміщення і повні кути повороту входять як невідомі:

$$S \cdot \bar{f} = \bar{q} \quad (1)$$

У роботі розглядаються пологі оболонки сталої товщини із середньою поверхнею, що має довільну опуклу чотирикутну форму в плані. Для моделювання довільної опуклої чотирикутної форми застосовується геометричне перетворення координат.

Запропоновано методику переходу від декартової системи координат до локальної системи $xy \rightarrow \xi\eta$, що дозволяє звести розрахунки для довільного чотирикутника до аналізу області у вигляді одиничного квадрата [3]. Геометричне перетворення визначається матрицею переходу, яка враховує координати вершин вихідного чотирикутника. Використання матриць переходу гарантує коректність відображення граничних умов у нових координатах.

Система рівнянь для ортотропних оболонок у новій системі координат записується у матричній формі. Основними невідомими є переміщення u , v , w та кути повороту Ψ_x , Ψ_y .

Враховано граничні умови на краях оболонки для різних типів закріплення: жорстке закріплення, шарнірна опора, вільний край - які формуються з урахуванням похідних у новій системі координат.

Для подальшого зведення двовимірної крайової задачі з граничними умовами до одновимірної, систему рівнянь розв'язано відносно вищих похідних за змінною ξ від розв'язувальних функцій u , v , w , Ψ_x , Ψ_y :

$$\left[\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial \xi^2} \right] = A \cdot \vec{f}^* - \vec{q}^*. \quad (2)$$

Обернена матриця дозволяє визначити невідомі коефіцієнти.

Запропоновано розрахункову схему для чисельного аналізу ортотропної не прямокутної в плані пологої оболонки на основі дискретно- континуального підходу:

- за допомогою сплайн-апроксимації [1] апроксимуються невідомі функції за однією координатою.
- формується одновимірна система рівнянь, яка розв'язується методом дискретної ортогоналізації.

Розроблено алгоритм визначення напружено-деформованого стану ортотропних оболонок з урахуванням їх форми, властивостей матеріалу та прикладених навантажень. Розрахункова схема на основі дискретно-континуального підходу є ефективним інструментом для аналізу ортотропних оболонок довільної чотирикутної форми. Використання нової системи координат дозволяє коректно враховувати складну геометрію та забезпечує адаптивність моделі до різних задач. Запропонована методика має потенціал для інтеграції у сучасні програмні комплекси інженерного аналізу.

1. Grigorenko A.Ya., Müller W.H., Grigorenko Ya.M., Vlaikov G.G Recent Developments in Anisotropic Heterogeneous Shell Theory. General Theory and Applications of Classical Theory – Volume I. - Berlin: Springer, 2016. – 116 p.
2. Grigorenko A.Ya., Müller W.H., Grigorenko Ya.M., Vlaikov G.G Recent Developments in Anisotropic Heterogeneous Shell Theory. Applications of Refined and Three-dimensional Theory — Volume IIA. - Berlin: Springer, 2016. – 42 p.
3. Grigorenko A.Ya., Pankrat'ev S.A., Yaremchenko S.N. Analysis of the Stress - Strain State of Complex - Shaped Plates // Int. Appl. Mech. – 2018. – V54, № 6. – pp. 695-701.

**DESING OF A COMPUTATIONAL SCHEME FOR
NUMERICAL ANALYSIS OF A NON-RECTANGULAR
ORTHOTROPIC SHALLOW SHELL BASED ON THE
DISCRETE-CONTINUOUS APPROACH**

The numerical modeling of shallow orthotropic shells of non-rectangular planform based on the refined theory of Timoshenko-type shells has been consider. The system of governing equations is represented in new Cartesian coordinates based on taking into account the shell geometry, which allows the analysis for an arbitrary non- rectangular in plan of the shell to be reduced to the study of a unit square domain. Using spline-collocation, the two-dimensional boundary-value problem for the system of partial differential equations is reduced to one-dimensional one, which is solved by the numerical discrete-orthogonalization method.