

РОЗРАХУНОК РЕБРИСТИХ ПЛАСТИН ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Спиридонов Д.О., студ. гр. ПЦБ-622м(н)

Науковий керівник – Крутий Ю.С., д.т.н., професор (кафедра Інформаційних технологій та прикладної математики, Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Анотація. Розглянуте застосування методу граничних елементів до розрахунків ребристих прямокутних пластин при будь-яких умовах закріплення країв і довільному характері навантажень. Для перевірки алгоритму числовий приклад розв'язаний методом граничних елементів і методом скінченних елементів у програмі ANSYS.

Ключові слова: пластина, ребро, метод граничних елементів, метод скінченних елементів, ANSYS.

Вступ. При розрахунках пластин, підкріплених ребрами двох напрямків, виникають значні труднощі. Це завдання зажадало подальшого розвитку теорії ребристих пластин. При запису основних співвідношень знайшли широке застосування узагальнені функції. Вони дозволили одержати рівняння теорії ребристих пластин і оболонки у стандартній формі, прийнятій в теорії гладких пластин і оболонки.

Аналітичні методи не дозволяють охопити всі різноманітні завдання, висунуті практикою. Тому при розрахунках ребристих пластин широке застосування знайшли чисельні методи [1-3].

Метою роботи є застосування методу граничних елементів до розрахунків ребристих прямокутних пластин при будь-яких умовах закріплення країв і довільному характері зовнішніх навантажень.

Основна частина. Диференціальне рівняння вигину пластинки в цьому випадку має вид:

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = \frac{\bar{q}}{D}, \quad (1)$$

де $W = W(x, y)$ – прогин пластинки; $\bar{q} = \bar{q}(x, y)$ – вільний член рівняння, що враховує не тільки зовнішні навантаження, але й наявність підкріплювальних ребер у поздовжньому напрямку, під яким будемо розуміти напрямок, паралельний осі y (рис. 1).

Найбільш загальний вид навантаження $\bar{q} = \bar{q}(x, y)$ має в тому випадку, коли ребра, що підкріплюють пластинку, будуть як суцільного перерізу, так і тонкостінного:

$$\begin{aligned} \bar{q}(x, y) = & q(x, y) - \sum_{i=1}^n EI_x W^{IV}(y) X(a_i) \delta(x - a_i) - \sum_{i=1}^n \frac{GA}{k_1} W''(y) X(a_i) \delta(x - a_i) - \\ & - \sum_{i=1}^n [EI_\omega W^{IV}(y) X'(a_i) - GI_k W''(y) X'(a_i)] \delta'(x - a_i), \end{aligned} \quad (2)$$

де EI_x , EI_ω , EI_k – жорсткості ребер при вигині та крутінні; k_1 – коефіцієнт, що враховує форму перерізу; a_i – координата розташування i -го ребра (рис. 1).

При використанні методу Канторовича-Власова двовимірне завдання переходить в одновимірне:

$$W^{IV}(y) - 2r^2 W''(y) + s^4 W(y) = \frac{\bar{q}(y)}{D} \quad (3)$$

при початкових умовах

$$\begin{aligned} DW(0); \quad D\theta(0) = DW'(0); \quad M(0) = -D\bar{A}[W''(0) - \mu r^2 W(0)]; \\ Q(0) = -D\bar{A}[W'''(0) - (2 - \mu)r^2 W'(0)]; \end{aligned} \quad (4)$$

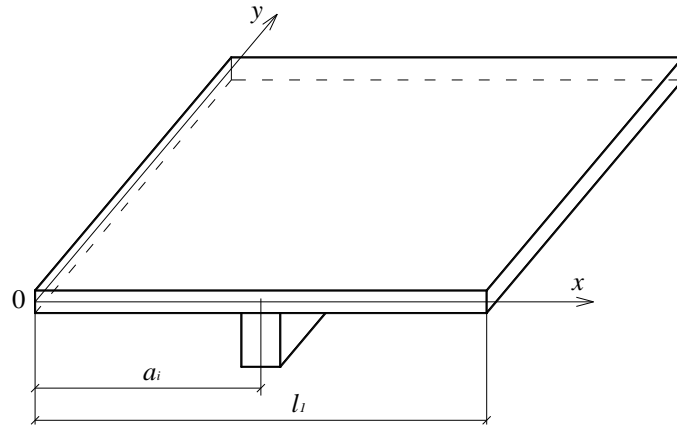


Рис. 1. Пластинка з ребром у поздовжньому напрямку

$$\text{де } r^2 = -\bar{B}/\bar{A}; \quad s^4 = C/\bar{A}; \quad \bar{q}(y) = \int_0^{l_i} \bar{q}(x, y) X(x) dx / \bar{A}; \quad (5)$$

$$\bar{A} = A + \frac{1}{D} \sum_{i=1}^n EI_x X^2(a_i) + \frac{1}{D} \sum_{i=1}^n EI_\omega [X'(a_i)]^2; \quad (6)$$

$$\bar{B} = B + \frac{1}{2D} \sum_{i=1}^n EI_k [X'(a_i)]^2 + \frac{1}{2D} \sum_{i=1}^n \frac{GA}{k_1} X^2(a_i); \quad (7)$$

$$A = \int_0^{l_i} X^2(x) dx; \quad B = \int_0^{l_i} X''(x) X(x) dx; \quad C = \int_0^{l_i} X^{IV}(x) X(x) dx. \quad (8)$$

Розв'язок основного диференціального рівняння завдання (1) зводиться до визначення прогину:

$$W(x, y) = W(y)X(x), \quad (9)$$

де функція $X(x)$ задана, а функція $W(y)$ визначається у вигляді:

$$DW(y) = A_{11} \cdot DW(0) + A_{12} \cdot D\theta(0) - A_{13} \cdot M(0) - A_{14} \cdot Q(0) + \int_0^y A_{14} (y - \xi) q(\xi) d\xi. \quad (10)$$

Розв'язок рівняння (3) залежить від коренів відповідного йому характеристичного рівняння, які представляються виразом:

$$k_{1-4} = \pm \sqrt{r^2 \pm \sqrt{r^4 - s^4}}. \quad (11)$$

Вид фундаментальних функцій визначається співвідношенням між r і s , яке залежить від граничних умов на поздовжніх крайках пластини й параметрів ребер жорсткості.

Аналітичні вирази фундаментальних функцій, функції Гріна й компонентів зовнішнього навантаження для всіх варіантів корінь (11) отримані в [3, 4].

Загальна концепція пропонованого підходу полягає в наступному. Будемо розглядати частини пластини, що мають ребра в поперечному напрямку (паралельно осі ox), як «гладкі» пластини товщиною $h_1 = h + h_{\text{ребра}}$, де h – товщина властиво пластини, $h_{\text{ребра}}$ – висота підкріплювального ребра. Для цих модулів слушна теорія розрахунків «гладких» пластин з відповідними виразами фундаментальних функцій, функції Гріна, векторів навантажень і т.д. Інші модулі являють собою пластини, підкріплені ребрами жорсткості в поздовжньому напрямку (паралельно осі Oy), і для них фундаментальні функції, функції Гріна, вектори навантажень визначаються виразами, отриманими раніше.

Розглянемо квадратну пластинку, жорстко затиснену по всьому контуру, завантажену рівномірно розподіленим навантаженням. Пластинка має по одному ребру жорсткості суцільного квадратного перерізу в кожному напрямку.

Тут обчислені прогин і згинальний момент у центрі пластинки при дії рівномірно розподіленого навантаження по всій поверхні; результати розрахунків дані в табл. 1, де

приводяться також значення прогину і згинального моменту в центрі пластинки, обчислені методом скінченних елементів в ANSYS [5].

Таблиця 1 – Порівняння результатів (варіант 1)

Жорстке защемлення, розподілене навантаження			
Величина	МГЕ	МСЕ	Розбіжність, %
Прогин, м	- 0,14059e-06	- 0,12571e-06	10,6
Момент, кН·м	0,92183e-02	0,85125e-02	7,7

Другий варіант розрахунків – пластинка із жорстким защемленням по всьому контуру, навантажена зосередженою силою, прикладеною в її центрі. Результати розрахунків дані в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння результатів (варіант 2)

Жорстке защемлення, зосереджена сила в центрі пластинки			
Величина	МГЕ	МСЕ	Розбіжність, %
Прогин, м	-0,16773e-04	- 0,15209e-04	9,3
Момент, кН·м	48,802	47,509	2,7

Характер розподілу напружень у пластині та підкріплювальних ребрах, отриманих в ANSYS, показаний на рис. 2.

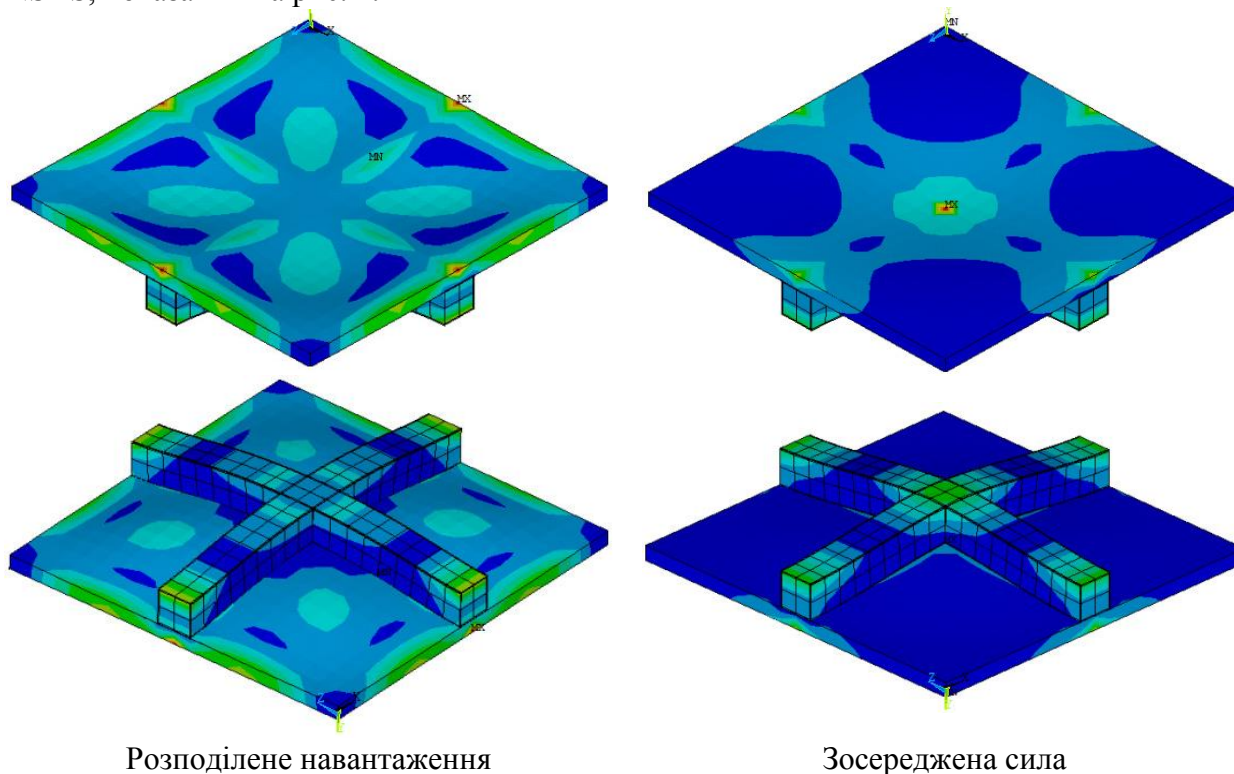


Рис. 2. Напруження в пластині та ребрах

Висновки. Результати розрахунків по розроблених алгоритмах МГЕ добре узгоджуються з результатами розрахунків в ANSYS.

Розроблені методики дозволяють виконувати розрахунки конструкцій корпусів металорізальних верстатів, мостів, обшивки судів, літаків, ракет, двигунів, компресорів, будівельних споруд і ін.

Література:

1. Кругій Ю.С., Лазарева Д.В., Сур'янінов М.Г. Механіка деформованого твердого тіла. Одеса: ОДАБА, 2017. 260с.
2. Варвак П.М. Метод конечных элементов. К.: Вища школа, 1981. 176 с.

3. Yu. Krutii, M. Surianinov, V. Chaban. The Solution of the Shells Theory Problems by the Numerical-Analytical Boundary Elements Method. Materials Science Forum 6th International Conference «Actual Problems of Engineering Mechanics» (APEM 2019). 2019. Vol. 968. Pp. 460-467.

4. Крутій Ю.С., Сур'янінов М.Г. Дослідження коливання ортотропної пластини чисельно-аналітичним методом граничних елементів. Збірник наукових праць «Математичні проблеми механіки неоднорідних структур». Вип. 5. Луцьк, 2019. С. 58-59.

5. Лазарева Д.В., Сорока М.М., Шиляєв О.С. Прийоми роботи з ПК ANSYS при розв'язанні задач механіки. Під редакцією М.Г. Сур'янінова: монографія. Одеса: ОДАБА, 2020. 432 с.

УДК 72.01

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СВІТОВОГО ДОСВІДУ З ВИКОРИСТАННЯ ФАСАДНОГО СКЛІННЯ

Стоянова А.Д., Романова М.І., студ. гр. А-336

Науковий керівник – Колеснікова Н.Ю., асистент (кафедра Архітектури будівель та споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Анотація. В даній статті зібрано та охарактеризовано основні види фасадного скління, виявлено переваги та недоліки використання світлопрозорих конструкцій, проаналізовано та систематизовано зарубіжний досвід.

Фасад – «обличчя» архітектури, те, що формує вигляд вулиці, району, міста та створює перше враження. Лицьову частину будівлі намагаються зробити максимально презентабельною та естетично привабливою. Один з найпопулярніших на даний момент способів реалізації подібних завдань – скління фасаду. Такий вид обробки зовні надає характерну легкість, сучасний зовнішній вигляд, а з внутрішньої сторони робить приміщення світлішим та візуально просторішим. Скляне оздоблення споруд використовується в реставрації та новому будівництві. Скло є унікальним і надзвичайно універсальним матеріалом, який можна сконструювати так, щоб він демонстрував специфічні оптичні, термічні, хімічні та механічні властивості. Завдяки своїм винятковим інженерним властивостям – прозорості, міцності, оброблюваності, коефіцієнту пропускання світла, скло активно використовується в будівельній промисловості.

Розглянемо найбільш поширені комерційні типи скла та типове їх застосування.

Відпалене скло – це звичайне пласке скло, яке не пройшло термозміцнення або загартування, має тенденцію розбиватися на великі гострі осколки. Використовується в деяких кінцевих продуктах, найчастіше – в склопакетах. Існує два види термічно обробленого скла: термозміцнене і загартоване. Хоча виробничий процес подібний – нагрівання скла, а потім примусове охолодження, – процес охолодження загартованого скла прискорюється, що робить скло в чотири-п'ять разів міцнішим і безпечнішим за необроблене. Повністю загартоване безпечне скло часто використовується, коли необхідна значна міцність, щоб протистояти тиску вітру та тепловому стресу. У термозміцненого скла процес охолодження відбувається повільніше, що призводить до меншої міцності на стиск. Термічно зміцнене скло приблизно вдвічі міцніше необробленого.

Ламіноване скло виготовляється з двох або більше шарів скла з одним або кількома проміжними шарами полімерного матеріалу, полівінілбутиралу (PVB) або етилвінілацетату (EVA). Ламіноване скло демонструє високоефективні характеристики ударостійкості та стійкості до куль, а також здатність утримувати осколки.