

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 624.04

А. С. Моргун¹
М. М. Сорока²
Ю. С. Гарбар¹
А. О. Москалюк¹

ПРИКЛАДАННЯ ПК ANSYS ДО ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вінницький національний технічний університет¹
Одеська державна академія будівництва та архітектури²

Розглядається застосування програмного комплексу ANSYS для розв'язку задач топологічної оптимізації будівельних конструкцій. Топологічна оптимізація ще на етапі проектування дозволяє знайти найбільш оптимальну вісь конструкції з найбільш раціональним розподіленням матеріалу з метою зниження маси конструкції та сприятиме зниженню кошторисної вартості будівельної конструкції. Задача розв'язується на основі оптимізації ступеня щільності матеріалу.

Ключові слова: будівельні конструкції, оптимальне проектування, оптимізація, програмні комплекси.

Вступ

Проблема вибору раціональної осі будівельної конструкції при конкретному навантаженні та витраті мінімальної кількості матеріалів на неї виникла давно і до сьогоднішнього дня ця проблема в будівництві є актуальною. Основною задачею будівельників залишається проектування архітектурно виразних, надійних і дешевих будівель і споруд. І ця задача може мати розв'язок за умови використання методів оптимізації при проектуванні несучих конструкцій. Сучасні програмні комплекси і комп'ютерна техніка можуть значно спростити проектування оптимальних будівельних конструкцій.

Метою роботи є демонстрація можливостей програмного комплексу ANSYS у розв'язку деяких задач оптимізації конструкцій.

Топологічна оптимізація

Топологічна оптимізація це підхід, що дозволяє знайти найкраще розподілення матеріалу в заданій області для заданих навантажень і граничних умов. Використання топологічної оптимізації на етапі проектування допомагає знайти варіант дизайну конструкції з найбільш раціональним розподіленням матеріалу і пустот в заданому об'ємі і таким чином значно знизити масу і вартість. На ранніх стадіях вивчення проблеми оптимізації топології застосовувався структурний аналіз методом скінчених елементів, після якого видалялись елементи із низьким рівнем напружень. Такий підхід був признаний невдалим, так як виявилось, що результат оптимізації сильно залежав від щільності початкової сітки скінчених елементів.

На сьогоднішній день використовується інший підхід. Вважається, що матеріал є пористим і задача оптимізації розв'язується відносно ступеня щільності матеріалу. Розроблені спеціальні скінчені елементи, які мають всередині порожнини. Розрахунковий модуль збільшує розміри порожнин у тих скінчених елементах, де матеріал навантажений не досить сильно і зменшує розміри порожнин там, де матеріал більш навантажений. В результаті оптимізації об'єкта створюється малюнок щільностей, який характеризує його напружений стан. Після оптимізації об'єкт передається у розрахунковий модуль ANSYS, де проводиться коригування оптимізованого об'єкту і виконується його остаточний розрахунок.

Приклад 1. Топологічна оптимізація ферми.

Виконаємо топологічну оптимізацію ферми, що наведена на рис. 1. Вихідні дані: проліт ферми 16 м, висота ферми 3 м, початкові площі стрижнів 0.01 м^2 , модуль пружності матеріалу

$2 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$, коефіцієнт Пуассона 0.3, допустиме напруження на стиск $1.5 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$, допустиме розтягуюче напруження $2 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$, допустиме вертикальне переміщення вузлів нижнього поясу ферми 18 мм.

Для виконання топологічної оптимізації створюємо плоский прямокутний фрагмент одиначної товщини, який має розміри габаритів ферми 16*3 м, встановлюємо в'язі і завантажуюмо його заданим навантаженням (рис. 2а).



Рисунок 1 – Вихідна схема ферми

В результаті топологічної оптимізації одержуємо малюнок розподілу щільностей у прямокутному фрагменті при заданих опорних закріпленнях і заданому навантаженні (рис. 2б). По розподілу щільностей створюємо модель ферми (рис. 2в).

До вихідної схеми ферми на рис.1 було застосовано параметричну оптимізацію [4].

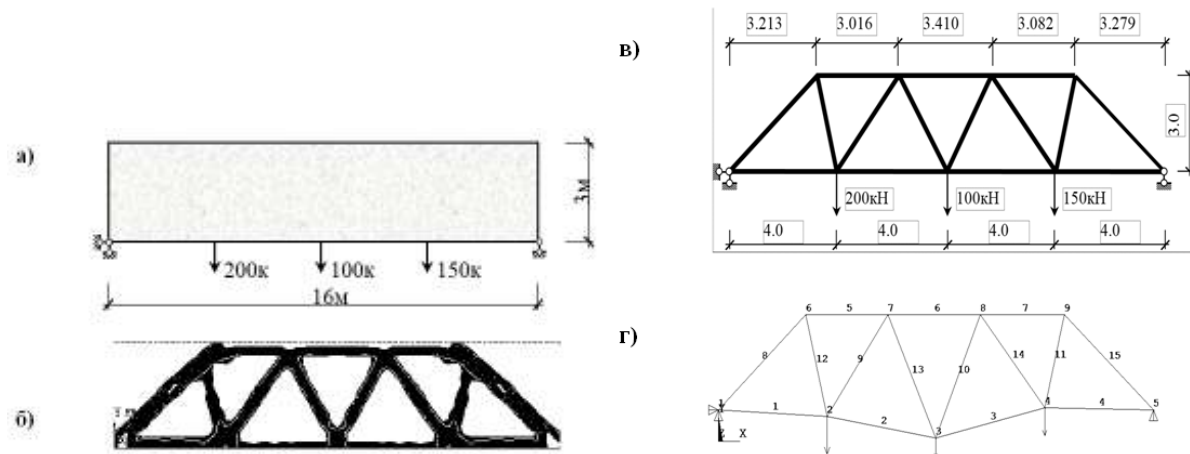


Рисунок 2 – Топологічна оптимізація ферми

У якості змінних проектування взято площі перетинів стиснутих (A_c) і розтягнутих (A_p) стрижнів, а в якості обмежень взято допустимі напруження у стрижнях ферми і вертикальні переміщення вузлів нижнього поясу ферми. Цільова функція – об'єм ферми $V = \sum l_i \times A_i$.

Результати розв'язку цього варіанту: початковий об'єм ферми 0.53 м^3 , об'єм ферми після параметричної оптимізації 0.1748 м^3 , площі перетинів стиснутих стрижнів 30.70 см^2 , площі перетинів розтягнутих стрижнів 35.55 см^2 , максимальне напруження в стиснутих стрижнях 128919 кН/м^2 (що менше допустимих $1.5 \cdot 10^5 \text{ кН/м}^2$), максимальне напруження у розтягнутих стрижнях 103146 кН/м^2 (що менше допустимих $2 \cdot 10^5 \text{ кН/м}^2$), вертикальне переміщення вузлів нижнього поясу: $y_2=14.1 \text{ мм}$; $y_3=17.9 \text{ мм}$; $y_4=13.2 \text{ мм}$. (що менше допустимих 18 мм).

Якщо до вихідної схеми ферми при проведенні її параметричної оптимізації додати ще в якості змінних ординати вузлів ферми при тих же обмеженнях і тій же цільовій функції, отримаємо оптимізований об'єм ферми $V=0.095 \text{ м}^3$, що на 46% менше, ніж у варіанті, коли в якості змінних взято лише площі стрижнів.

Якщо ж провести параметричну оптимізацію схеми ферми на рис. 2в (отриманої в результаті топологічної оптимізації), то в результаті одержуємо оптимізовану модель ферми (рис. 2г). При виконанні усіх обмежень об'єм ферми становить 0.0890 м^3 , що на 6% менше, ніж об'єм ферми, одержаний у попередньому варіанті.

Приклад 2. Топологічна оптимізація об'ємного тіла.

Найбільшу цікавість на сьогоднішній день викликає топологічна оптимізація об'ємних тіл. І такому положенні є декілька причин. По-перше, топологічна оптимізація призводить до значної економії матеріалу, що в свою чергу значно знижує власну вагу конструкцій і виробів. По-друге, з появою 3-D принтерів дуже легко вирішується проблема виготовлення виробів складної форми, що створюються в результаті оптимізації. Найбільш актуальним є використання топологічної оптимізації у літакобудуванні і виготовленні космічних апаратів, де вага повинна бути якомога менша. А зважаючи на те, що деякі вироби виготовляються з дуже дорогих сплавів для забезпечення міцності, економія матеріалу значно знижує вартість виробів.

Для ілюстрації використання топологічної оптимізації у будівництві на рис. 3 наведено простий приклад створення конструкції моста. Розрахунок починається із завдання вихідних даних – створення паралелепіпеда, розміри якого є розмірами моста, який потрібно запроєктувати. Опори встановлені на поперечних ребрах паралелепіпеда, навантаження розподілене по верхній грані.

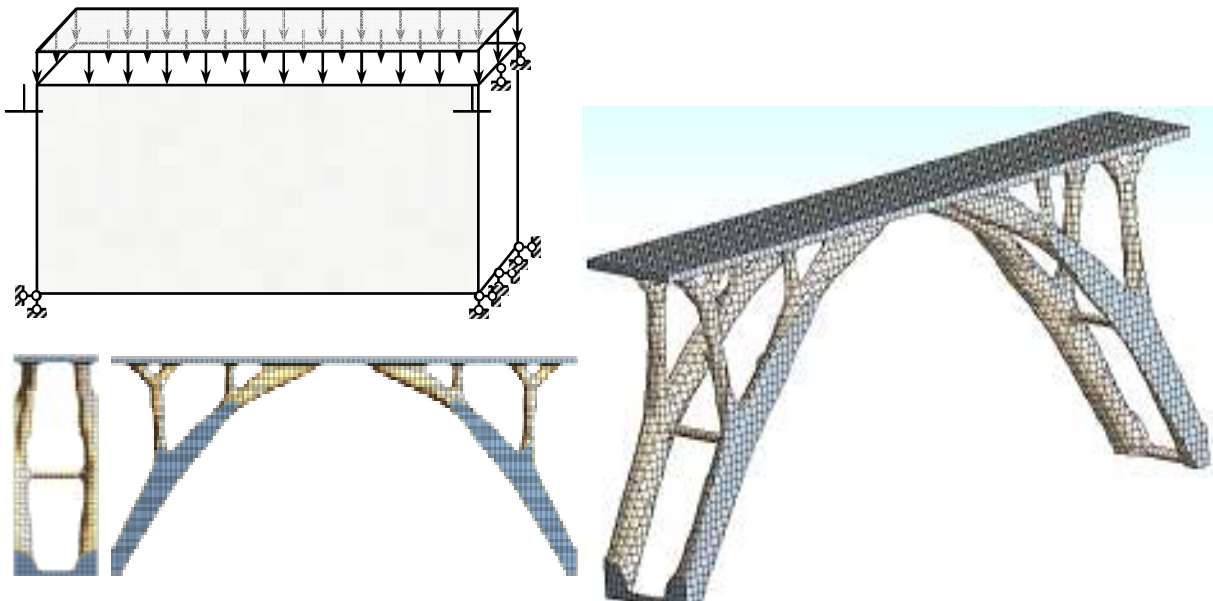


Рисунок 3 – Топологічна оптимізація об'ємного тіла

У результаті розрахунків весь «зайвий» матеріал видаляється і ми одержуємо зображення досить легкого арочного моста. Звичайно, щоб це зображення стало проектом моста над ним повинен попрацювати конструктор. Але, відштовхуючись від даного зображення конструктор буде мати впевненість у раціональному використанні матеріалу.

Висновки

- Топологічна оптимізація конструкцій на сьогоднішній день є досить актуальною і дозволяє значно знизити матеріалоемність і вартість будівель і споруд.
- Програмний комплекс ANSYS дозволяє якісно і швидко виконувати розрахунки з використанням топологічної оптимізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.
2. Пермяков В. А., Перельмутер А. В., Юрченко В. В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. – К.: ТОВ «Издательство «Сталь», 2008. – 538 с.
3. Бекшаев С.Я. Об оптимальном расположении промежуточной опоры продольно сжатого стержня. Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. вип. 60, Одеса, ОДАБА, 2012, с.400-406
4. Моргун А. С., Сорока М. М. Розв'язання задач параметричної оптимізації будівельних конструкцій в ПК ANSYS / Вісник ВПІ. – № 5. – 2017. – С. 27-30.

Моргун Алла Серафимівна – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Сорока Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки, Одеська державна академія будівництва та архітектури.

Гарбар Юрій, Москалюк Андрій – студенти Вінницького національного технічного університету.

A. Morgun¹
N. Soroka²
Y. Garbar¹
A. Moskalyuk¹

APPLICATION TO TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF BUILDING CONSTRUCTIONS BY PC ANSYS

Vinnitsia National Technical University¹
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture²

The use of the ANSYS software complex for solving problems of topological optimization of building constructions is considered. The topological optimization at the design stage allows us to determine the optimal axis of the structure with the most rational distribution of the material in order to reduce the mass of the structure and helps to reduce the estimated cost of the construction. The problem is solved on the basis of optimization of the density of the density of the material.

Keywords: building constructions, optimal design, optimization, software complexes.

Morgun Alla – Dr. tech. sciences, professor of the department of construction, architecture and municipal economy Vinnitsia National Technical University.

Soroka Nikolai – Cand. tech. sciences, associate professor of the Department of construction mechanics of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Garbar Yuriy, Moskalyuk Andriy – Student's of Vinnitsia National Technical University.

A. С. Моргун¹
Н. Н. Сорока²
Ю. С. Гарбар¹
А. А. Москалюк¹

ПРИЛОЖЕНИЕ ПК ANSYS К ТОПОЛОГИЧНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Винницкий национальный технический университет¹
Одесская государственная академия строительства и архитектуры²

Рассматривается использование программного комплекса ANSYS для решения задач топологической оптимизации строительных конструкций. Топологическая оптимизация ещё на этапе проектирования позволяет определить наиболее оптимальную ось конструкции с наиболее рациональным распределением материала с целью снижения массы конструкции и способствует снижению сметной стоимости строительной конструкции. Задача решается на основании оптимизации степени плотности щільності матеріала.

Ключевые слова: строительные конструкции, оптимальное проектирование, параметрическая оптимизация, топологическая оптимизация, программные комплексы.

Моргун Алла Серафимовна – д-р техн. наук, профессор кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры Винницкого национального технического университета.

Сорока Николай Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры строительной механики Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Гарбар Юрий, Москалюк Андрей – студенты Винницкого национального технического университета.