

УДК 624.04:519.853:519.688

ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ ПРИ ТРИВИМІРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ КОНСТРУКЦІЙ

Єгоров Є. А., докт. техн. наук, проф.; Кучеренко О. Є., канд. техн. наук

Державний вищий навчальний заклад

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Постановка задачі. При проектуванні та моделюванні конструкцій в 3D форматі застосування оптимізаційних алгоритмів треба розглядати як одну з найголовніших стадій цих процесів. Це пояснюється тим, що сама ціль такого проектування полягає, головним чином, в створенні оптимальних за різними параметрами будівель і споруд найрізноманітнішого призначення.

Проте, варто зазначити, що використання оптимізаційних алгоритмів при проектуванні будь-яких будівельних конструкцій має свої особливості. По-перше, за результатом застосування таких алгоритмів топологічні конфігурації конструкцій набувають форми, які можуть бути дуже далекими від традиційних, і це, як правило, унеможливує використання добре відомих інженерних принципів розрахунку і значно ускладнює проектування. По-друге, такі оптимальні за затратами матеріалу форми зазвичай мають різного роду локальні особливості, де визначення напружено-деформованого стану стає проблематичним і потребує спеціальних додаткових досліджень навіть при скінченно-елементному їх моделюванні.

Мета роботи. Розглядається задача пошуку оптимальної топології тривимірної короткої консольної балки. В даному випадку визначена оптимальна топологія являє собою більш ефективну заміну звичайної консольної двотаврової балки. Розв'язання цієї задачі дозволяє отримати таку конфігурацію, що веде до зменшення матеріаломісткості конструкцій при тих же механічних властивостях їх матеріалу. Пошук оптимальної топології виконується із застосуванням методу пеналізації для твердого ізотропного тіла (Solid Isotropic Material with Penalization – SIMP), який був запропонований Bendsøe [1].

Основні результати. Задача пошуку оптимальної топології ізотропного твердого тіла формулюється в термінах математичного програмування [2]:

$$\begin{aligned} \min_{x \in \{0,1\}^k} F^T u(x) \\ K(x)u(x) = F, \\ V(x) = f |\Omega| \end{aligned} \quad (1)$$

де $F \in R^n$ – вектор зовнішніх сил; $u(x)$ – вектор переміщень; $K(x)$ – матриця жорсткості; $|\Omega|$ – об'єм довільної дискретної області, яка складається із k елементів; $V(x)$ – об'єм еластичного тіла; f – частка об'єму, який необхідно зберегти; x – бінарний вектор, що визначає, які дискретні елементи області Ω необхідно зберегти. При цьому цільову функцію можна інтерпретувати як роботу зовнішніх сил з деформації системи, тобто розв'язування задачі полягає в пошуку максимально жорсткого тіла об'ємом $V(x)$.

У загальному випадку задача (1) не є опуклою та розв'язується за допомогою чисельних методів. Для розв'язування оптимізаційної задачі (1) було розроблено застосунок на мові Python 3.7. При цьому для обробки матриць та розв'язування лінійних рівнянь використовувалися модулі NumPy та Scipy [3].

Оптимізаційна задача (1) розв'язувалася для консольної балки довжиною 0.4 м, на вільний кінець якої діє сила $F = 135$ кН, що направлена вниз. За таких умов коротка двотаврова балка з широкого профілю 20Ш1 матиме максимальне напруження 239 МПа, що відповідає розрахунковому опору $R = 240$ МПа. При цьому максимальний зсув вільного кінця балки дорівнює 1.09 мм.

Розв'язування оптимізаційної задачі (1) за наданих умов із застосуванням розробленого авторами застосунку веде до топологічної схеми, наведеної на рисунку. В такій модифікованій балці максимальне напруження не перевищує 240 МПа. Максимальне переміщення дорівнює 1.06 мм. При цьому об'єм оптимальної балки менший за об'єм балки з широкого двотавру приблизно на 15 %. Для подальшого аналізу і дослідження напружено-деформовного стану конструкції авторами розроблено додатковий модуль для експорту тривимірної моделі в програмний комплекс Ansys Academic.

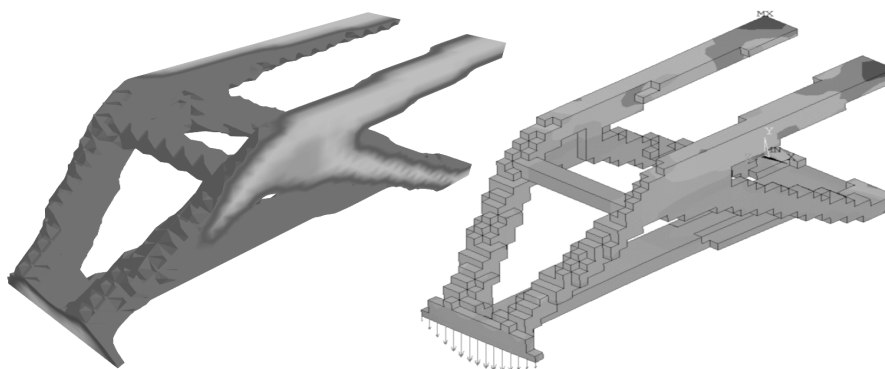


Рис. Оптимальна топологія консольної балки:
ліворуч – згладжена модель; праворуч – дискретизована модель, що експортується в Ansys

Висновки. Оптимізація топології конструкції на етапі її проектування та моделювання дозволяє одержати суттєве зниження витрат матеріалу, але потребує тих чи інших спеціальних підходів для визначення напруженого стану, що виникає в зонах локальних особливостей, які є характерними для багатьох оптимальних конструктивних форм. Okремо варто відзначити, що оптимальне моделювання конструкцій є важливою складовою ВІМ-технології, тобто, технології загального інформаційного моделювання будівель і споруд і відіграє важливу роль в управлінні їх життєвим циклом.

Список використаних джерел

1. Bendsoe M. P. Optimal shape design as a material distribution problem. *Struct. Optim.* 1989. Vol. 1. Pp. 193–202.
2. Ferrari F., Sigmund O. A new generation 99 line Matlab code for compliance topology optimization and its extension to 3D. *Struct. Multidiscip. Optim.* 2020. Vol. 49. Pp. 815–829.
3. Harris C. R., Millman K. J., Van der Walt S. J. Array programming with NumPy. *Nature.* 2020. Vol. 585. Pp. 357–362.