УДК 539.3

Г.М. Іванченко[1],
докт. техн. наук, професор
ORCID: 0000-0003-1172-2845
О.О. Кошевий[1],
доктор філософії (PhD), доцент
ORCID: 0000-0002-1903-2905
І.В. Жупаненко[1],
канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0002-6167-6552
[1]*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ*

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИМУШЕНИХ ЧАСТОТ КОЛИВАННЯ ОБОЛОНКИ МІНІМАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА ПРЯМОКУТНОМУ КОНТУРІ ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМУ НАВАНТАЖЕНІ

Задачі розрахунку за двома групами граничних станів та забезпечення всіх параметрів на етапі проектування є багатокритеріальною задачею. Оптимальне проектування допомагає виконувати такі завдання. При виникненні явища резонансу, потрібно змінювати частоту вимушених коливань несучих конструкцій різних резервуарів та покриттів для того, щоб була достатня міцність та стійкість споруди і будівлі загалом. Для цього в оптимальному проектуванні є окремий вид задач, який дозволяє змінювати вимушені частоти коливань на прикладі оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі.

В математичному відношенні задачі оптимального проектування є задачами оптимізації, пошуком екстремуму цільової функції (максимум або мінімум). Методи вирішення задач оптимального проектування можна умовно розділити на дві групи. В одну із них ввійдуть методи, які засновані на використанні необхідних умов екстремуму цільової функції. В другу групу входять методи: лінійні, випукле і динамічне програмування, методи випадкового пошуку. Для застосування сучасних методів математичної оптимізації необхідні потужні ПК з великою кількістю оперативної пам'яті, тому при виборі оптимізації необхідно враховувати можливості комп'ютерної техніки.

Оптимізаційній алгоритм для однокритеріальної параметричної оптимізації виконується наступним чином: цільова функція – вага оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі, змінні проектування – товщина оболонки від 1 до 50 мм, обмеження представлені – перша вимушена частота коливання 0,15 Гц.

За допомогою програмного комплексу Femap with Nastran і власного програмного забезпечення побудовано і виконано дослідження однокритеріальної параметричної оптимізації. Результати зміни цільової функції – зменшення ваги оболонки на 2300 кг сталі С240, що є у відсотковому еквіваленті 10,3% без втрати міцності і стійкості оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. За допомогою методики автора та власного програмного забезпечення є можливість виконувати ефективний оптимізаційний розрахунок для оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі.

Ключові слова: оптимізація, параметрична оптимізація, однокритеріальна параметрична оптимізація, оптимізація форми, вимушені частоти коливань, оболонка мінімальної поверхні, цільова функція, вага конструкції, змінні проектування, обмеження, товщина оболонки.

Вступ. Розвиток сучасної європейської країни потребує нових підходів до проектування конструкцій з великими розмірами для промисловості. Забезпечення всіх параметрів за двома групами граничних станів на етапі проектування є багатокритеріальною задачею. Характеристики конструкції іноді протирічать один одному, але при цьому потрібно враховувати матеріалоємність, яка дозволяє при правильному підході економити кількість листової сталі, або використовувати її ефективно. Оптимальне проектування допомагає виконувати такі завдання.

Проблематика сучасного промислового проектування полягає у використанні новітніх оптимізаційних технологій при споруджені різних споруд і резервуарів зі сталі, а також відсутності таких методик у державних будівельних нормах та інших нормативних документах. Безперечно, це веде до ускладнення та збільшення трудомісткості на етапі проектування конструкції, але допомагає зробити результат якісним по різним параметрам при розрахунку за двома групами граничних станів. Для промислового проектування це потрібно в різних наступних сферах, які є основними, для забезпечення енергетичної незалежності країни: нафтовій, атомній, машинобудівній, хімічній, легкій та важкій промисловості.

В промисловості використовується обладнання, яке накладає на конструкцію різні динамічні коливання. При виникненні явища резонансу, потрібно змінювати частоту вимушених коливань несучих конструкцій резервуарів та покриттів для того, щоб була достатня міцність і стійкість споруди та будівлі загалом. Для цього в оптимальному проектуванні є окремий вид задач, який дозволяє змінювати вимушені частоти коливань. На прикладі оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. Вибір критерїв оптимальності – одна із основних задач оптимального проектування. Найбільш цікавим показником може бути вартість будівництва конструкції, будівлі або споруди. В такій задачі врахувати всі фактори, що впливають на вартість, практично неможливо, а на практиці використовують прості критерії. Найбільшого розвитку отримали задачі, де цільові функції у параметричній оптимізації: є вага та об’єм, при дотримані умов міцності, жорсткості, стійкості.

Математичне формулювання задачі оптимального проектування. В математичному відношенні задачі оптимальне проектування є задачами оптимізації, пошуком екстремуму цільової функції (максимум або мінімум). Задача відноситься до математичного програмування, якщо цільова функція відноситься до однієї або декілька змінних проектування. Задачі оптимізації вирішуються теорією оптимального управління. Неперервний варіант відноситься до варіаційному численню, дискретний – до математичного програмування.

Методи вирішення задач оптимального проектування можна умовно розділити на дві групи. В одну із них ввійдуть методи, які засновані на використанні необхідних умов екстремуму цільової функції. До таких методів відносяться методи класичного математичного аналізу: метод Ейлера, Лагранжа, Рітца, Бубнова–Гальоркіна, принцип максимуму Л.С. Понтягіна. В другу групу входять методи: лінійні, випукле і динамічне програмування, методи випадкового пошуку.

Для застосування сучасних методів математичної оптимізації необхідні потужні ПК з великою кількістю оперативної пам'яті, тому при виборі оптимізації необхідно враховувати можливості комп'ютерної техніки.

В сучасному оптимальному проектуванні використовуються методи математичного програмування і варіаційні методи, що потребують великих об'ємів обчислень, тому вони представляють значний науковий інтерес в будівельній механіці.

В даному дослідженні розглядаються оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі, для того, щоб застосувати одночасно два типи оптимізації. Форма мінімальної оболонки на заданому прямокутному контурі допомагає мінімізувати площу поверхні, а параметрична оптимізація дає можливість змінювати вимушені частоти коливання при оптимальному розрахунку. Задачі оптимального проектування виконуються в автоматизованому режимі із застосуванням власного програмного забезпечення, яке реалізує два типи оптимізації одночасно но одному досліджуваному об'єкті.

Теоретичне формулювання однокритеріальної параметричної оптимізації оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. Задачі оптимального проектування в будівельній механіці по своєму задуму схожі до задач математичного програмування з обмеженням у вигляді нерівностей. Їх рішення зводиться до пошуку невідомого вектора змінних $\bar{X}$, що визначає геометричні і фізичні характеристики системи, при умові мінімуму цільової функції $F(\bar{X}) \rightarrow min$. Аналіз багатьох робіт по оптимальному проектуванню в будівельній механіці показує, що основним фактором вибору математичної моделі задачі є прийнятий метод рішення і тільки в другу чергу вимоги найбільшої відповідності сформульованої моделі своєму фактичному прототипу. Саме цим можна пояснити велике різноманіття моделей і методів рішення задачі оптимального проектування в будівельній механіці.

Математичний метод проекції градієнта використовує інформацію тільки перших похідних, або градієнту, і полягає в побудові послідовності модифікацій проекту, котрий забезпечує збіжність в точці з мінімальним значенням функції цілі (точці оптимуму), при цьому виконується автоматизований статичний розрахунок:

Знайти такий проект S (вектор $\vec{X}_k$), що

$$h_k(S) = 0 \text{ при } k = 1; 2; \dots \dots \dots k_n$$

$$g_j(S) \leq 0 \text{ при } j = 1; 2; \dots \dots \dots j_n \qquad (1)$$

Функція $\varphi(S)$ мінімальна. Через S позначена деяка точка в просторі проектування, яка визначається певними вибраними змінними. В більшості задачах умови на функціонали h_k і g_j визначаються обмеженнями на поведінку конструкції під навантаженням, але деякі із них можуть відображати задані розділи підпростору проектування.

Питання в тому, має задача визначення в загальному вигляді умови (1) рішення, залишається відкритим і тільки в окремих випадках може бути вирішена на основі фізичної інтуїції. Теж саме можна сказати і відносно єдиного рішення.

Із (1) випливає, що якщо S є оптимальним рішенням, то малі варіації δS всередині підпростору проектування задовольняють вимоги.

$$\delta h_k(S) = 0, \qquad \text{при } k = 1; 2; \ldots \ldots \ldots k_n$$

$$\delta g_j(S) \le 0, \text{ для всіх } j, \text{при яких } \delta g_j(S) \le 0, g_j(S) = 0 \qquad (2)$$

Це класичне варіаційне формулювання є необхідною умовою оптимального рішення.

Умову (2) можна представити в іншій, часто більш в зручній формі. Для простоти припустимо, що змінні проектування визначають N дійсних чисел, так, що простір проектування можна представити як N–мірне еквівалентне простору.

Позначимо через S деяке допустиме рішення, а через δS його довільну варіацію в межах підпростору проектування. Якщо $h_k(S) = 0$, то варіації δS перпендикулярні по всім векторам $\nabla h_k(S)(\,k = 1; 2; \ldots .\, k)$, де набла–оператор ∇ означає градієнт. Подібним чином обмеження у вигляді активних нерівностей $g_j(S) = 0$ потребують, щоб варіація δS не мала компонент в позитивному напрямку $\nabla g_j(S)$

Звідси можна зробити висновок, що для будь–яких дійних чисел $\lambda_k \ge 0$ і $\gamma_j \ge 0$ проекції δS на вектор

$$\textstyle\sum_{k=1}^{K} \lambda_k \nabla\, h_k(S) + \sum_j' \gamma_j \nabla g_j(S) \qquad (3)$$

не є позитивними. Символ $\sum_j'$ позначає, що сума обмежень лиш тими значеннями j, для котрих $g_j(S) = 0$. Іншими словами, будь–який напрямок, що має компоненту в будь–якому із напрямків (3), веде в неприпустимий простір.

Щоб зменшити цільову функцію φ, необхідно рухатися в напрямку, який має будь–яку позитивну компоненту в негативному напрямку $\nabla\varphi$, але якщо цей напрямок $-\nabla\varphi$ є будь–яким із напрямків (3), то ніякий рух всередину допустимого простору не зменшить цільової функції. Отже, в будь–якій із оптимальних точок $-\nabla\varphi$ є одним із напрямків (3). Використовуючи цю обставину можна зробити висновок, якщо S є оптимальним рішенням, то існує безліч таких дійних чисел $\gamma_j \ge 0$ і додатних чисел λ_k, що

$$-\varphi(S) = \textstyle\sum_{k=1}^{K} \lambda_k \nabla\, h_k(S) + \sum_j' \gamma_j \nabla g_j(S) \qquad (4)$$

Формула (4) виражає умову оптимізації Куна–Таккера. Коли немає активних обмежень – нерівностей, величина λ_k може інтерпретуватися як множники Лагранжа. Для задачі без обмежень умови Куна–Таккера зводиться к умови $\nabla\varphi = 0$.

Оскільки відношення (2, 3) задовольняють будь–які стаціонарні рішення, ці умови самі по собі не можуть забезпечити глобальну оптимізацію, але вони створюють основу, на яку будуть посилатися більшість досліджень по оптимальному проектуванню.

Щоб впевнитися в глобальності будь–якого із досягнутих мінімумів, необхідно провести додаткові дослідження. Зокрема, якщо допустимий простір проектування випуклий і якщо цільовий функціонал або випуклий, або вігнутий, то деякі теореми нелінійного програмування можуть давати важливу інформацію відносно глобальності, а також про становище можливого рішення.

Якщо цільова функція φ є унімодальною (маючи один екстремум), то пошук оптимального рішення спрощується. Мультимодальні функції можуть мати деякі оптимальні рішення. Для таких функцій глобальне оптимальне рішення надає собою найменше значення $\varphi(S)$, тоді як локальні оптимальні рішення представляють собою найменше значення $\varphi(\vec{X}_k)$ в околиці оптимального проекту S^1. Як для глобального, так і для локального мінімуму $\varphi(S^1) \le \varphi(S)$, але для глобального оптимального рішення це відношення виконується для всіх $\vec{X}_k$ в E^n, тоді для локального оптимального рішення цей простір має місце тільки для деякої області.

На практиці припущення про те, що локальний екстремум є глобальним, може бути перевірено шляхом використання деяких початкових векторів, але якщо знайдено одне найменше локальне рішення, в загальному випадку неможна показати, що це рішення обов'язково є глобальним оптимальним проектом. Цільова функція є позитивною і володіє єдиним екстремумом. Цей факт встановлюється на основі понять випуклості і ввігнутості функції.

Функція $\varphi(\vec{X}_k)$ називається випуклою в області R, якщо для любих векторів $\vec{X}_{k1}$ і $\vec{X}_{k2} \in R$

$$\varphi\left(\theta\vec{X}_{k1} + (1-\theta)\vec{X}_{k2}\right) \le \theta\varphi\left(\vec{X}_{k1}\right) + (1-\theta)\varphi\left(\vec{X}_{k2}\right), \tag{5}$$

якщо має місце нерівність, що зворотна до (5) то функція називаються ввігнутою.

Диференціальна випукла функція володіє наступними властивостями

1. $\varphi\left(\vec{X}_{k2}\right) - \varphi\left(\vec{X}_{k1}\right) \ge \nabla^T\varphi\left(\vec{X}_{k1}\right)\left(\vec{X}_{k2} - \vec{X}_{k1}\right)$; для всіх $\vec{X}_{k1}$ і $\vec{X}_{k2}$
2. Матриця $\frac{\partial\varphi}{\partial x_i \partial x_j}$ (матриця Гессе) позитивно визначена;
3. В області R функція $\varphi\left(\vec{X}_k\right)$ має тільки один екстремум.

Із поняття випуклості витікає важливий результат математичного програмування. Якщо мінімізація функції φ випукла і кожна функція $g_j\left(\vec{X}_k\right)$, яка задає обмеження у вигляді нерівності – ввігнута, то локальний мінімум є також і глобальним мінімумом. І аналогічно локальний максимум увігнутої функції є глобальним максимумом [5].

Чисельне дослідження однокритеріальної параметричної оптимізації в цільової функції: вага для оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. Оптимізаційній алгоритм для однокритеріальної параметричної оптимізації виконується наступним чином: цільова функція – вага оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі, змінні проектування – товщина оболонки від 1 до 50 мм, обмеження представлені – перша вимушена частота коливання 0,15 Гц. В ході розв'язання задачі параметричної оптимізації, де обмеженням є перша власна частота коливання, щоб запобігти резонансу, знаходимо оптимум конструкції в ході мінімізації або максимізації цільової функції. На рис. 1 зображена блок схема, як в деталях іде процес оптимізаційного розрахунку. Під час процесу однокритеріальної параметричної оптимізації використовується власне програмне забезпечення, в якому виконується побудова геометрії оболонки мінімальної поверхні на власному програмному забезпеченні, яка потім переноситься на Femap with Nastran в автоматизованому режимі, де в подальшому виконується побудова скінчено–елементної моделі [3] і задання термосилового навантаження. Між програмним забезпеченням та програмним комплексом Femap with Nastran створені перехідні модулі для того, щоб цей процес виконувався **в автоматизованому режимі**.

Побудована СЕМ з заданою комбінацією навантаження.

Задаються унікальні властивості для СЕ типу Plate, де показується крок зменшення або збільшення товщини кожного СЕ.

Перерахунок конструкції тип: Normal Modes/Eigenvalue.

Задається цільова функція – маса конструкції;

Задаються змінні проектування – товщина СЕ Plate

Задається ліміт розрахунку – власна частота коливання.

Розрахунок Design Optimization тип: Normal Modes/Eigenvalue

Отримання результатів там побудова графіку цільової функції по циклам оптимізації

Перевірка розрахунку: введення файлу з розширенням .PCH виконання перевірочного розрахунку тип: Normal Modes/Eigenvalue

Рис. 1. Блок–схема оптимізації при обмеження вимушених частот коливань

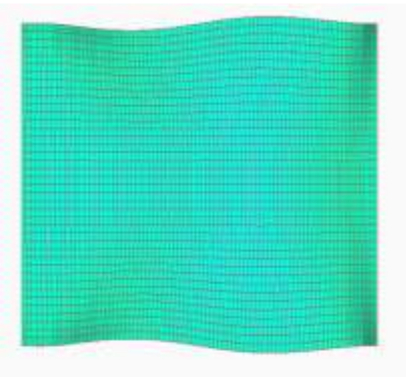

Рис. 2. Перша форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,0640383 Hz

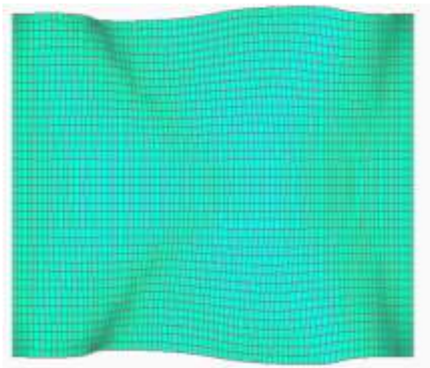

Рис. 12. Перша форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,151482 Hz

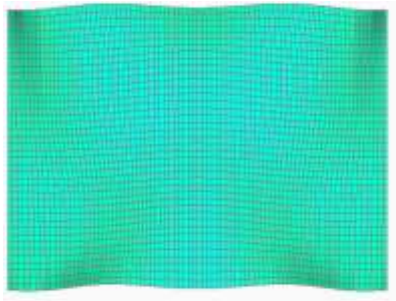

Рис. 3. Друга форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,096417 Hz

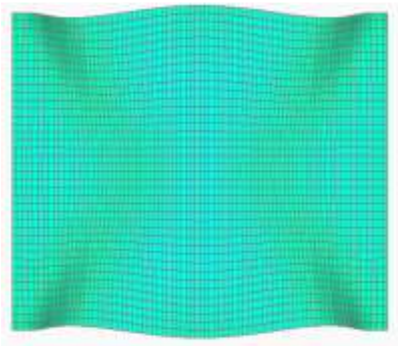

Рис. 4. Третя форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,14011 Hz

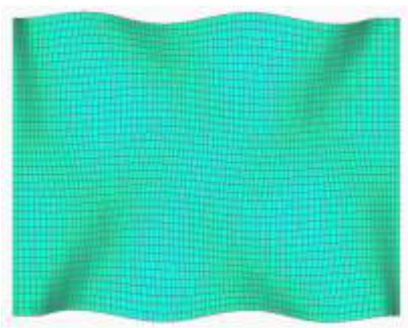

Рис. 5. Четверта форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,177075 Hz

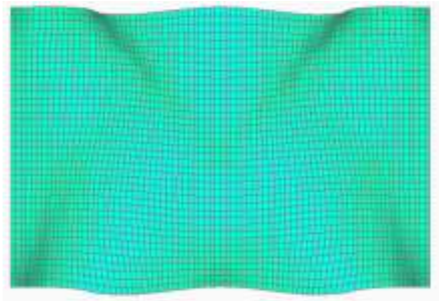

Рис. 13. Друга форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,158411 Hz

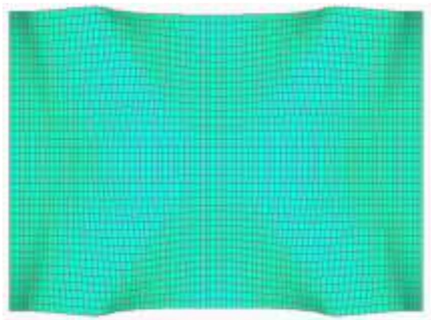

Рис. 14. Третя форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,236605 Hz

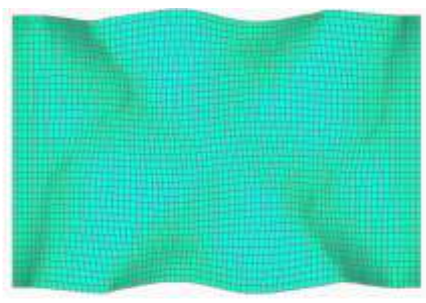

Рис. 15. Четверта форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,24814 Hz

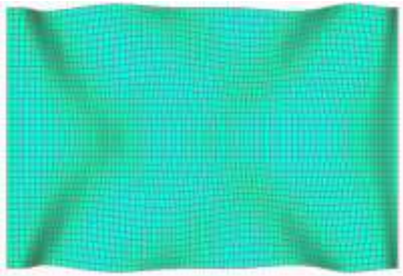

Рис. 6. П’ята форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,236151 Hz

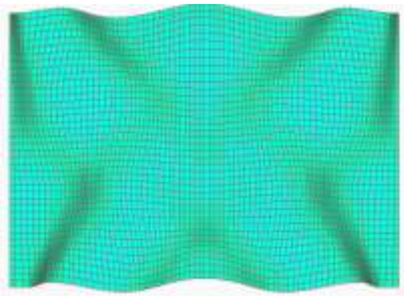

Рис. 7. Шоста форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0.297147 Hz

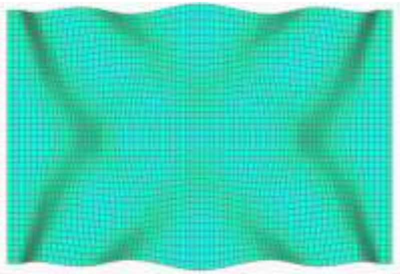

Рис. 8. Сьома форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,358497 Hz

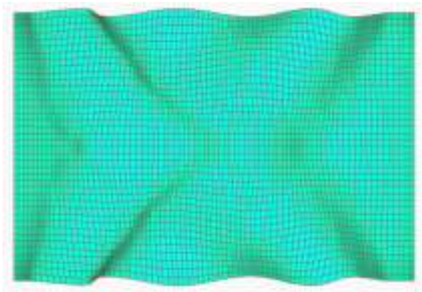

Рис. 16. П’ята форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,365844 Hz

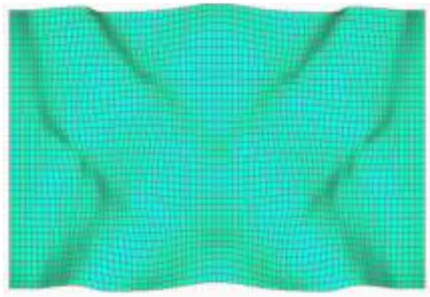

Рис. 17. Шоста форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0.377561 Hz

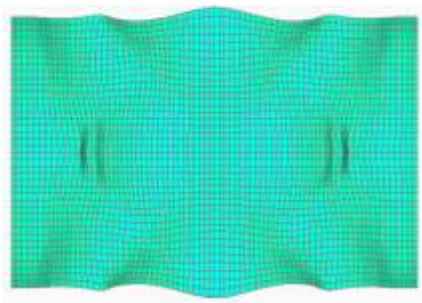

Рис. 18. Сьома форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,433666 Hz

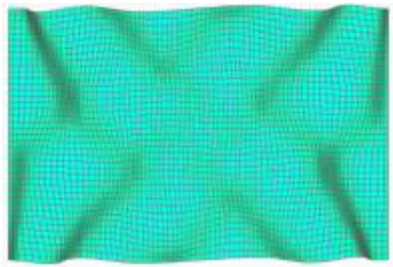

Рис. 9. Восьма форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,420922 Н

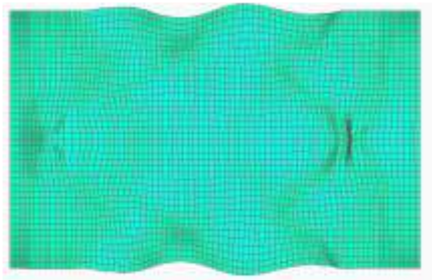

Рис. 19. Восьма форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,448143 Hz

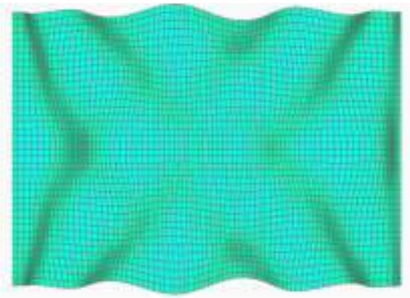

Рис. 10. Дев’ята форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,472696 Hz

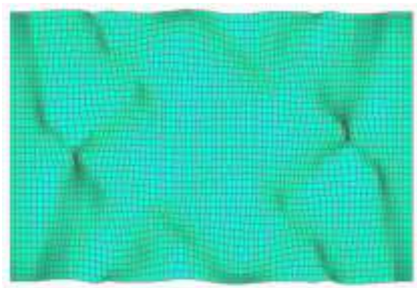

Рис. 20. Дев’ята форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,477142 Hz

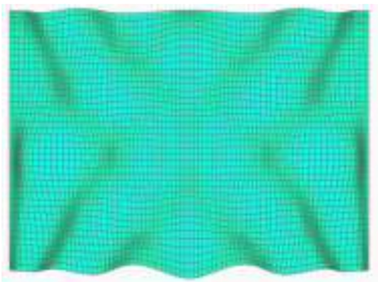

Рис. 11. Десята форма коливання до оптимізації. Частота коливання 0,584748 Hz

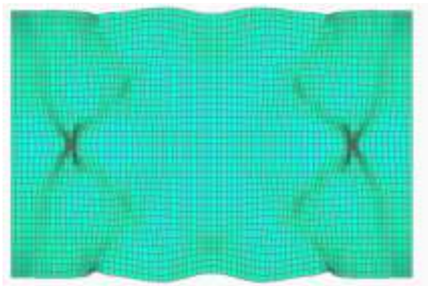

Рис. 21. Десята форма коливання після оптимізації. Частота коливання 0,53292 Hz

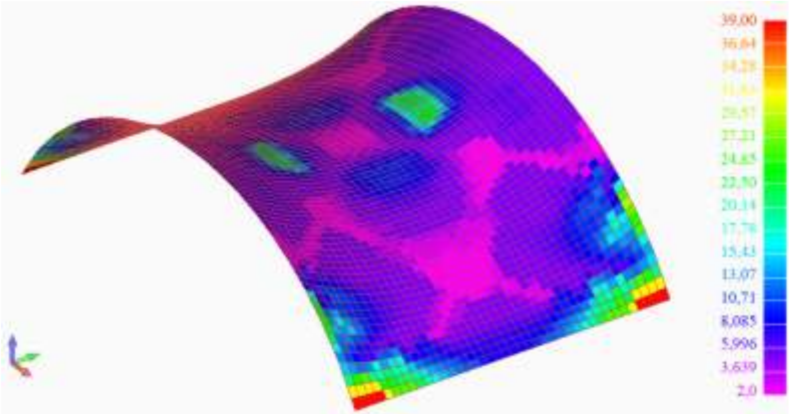

Рис. 22. Товщина оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі після оптимізації в мм

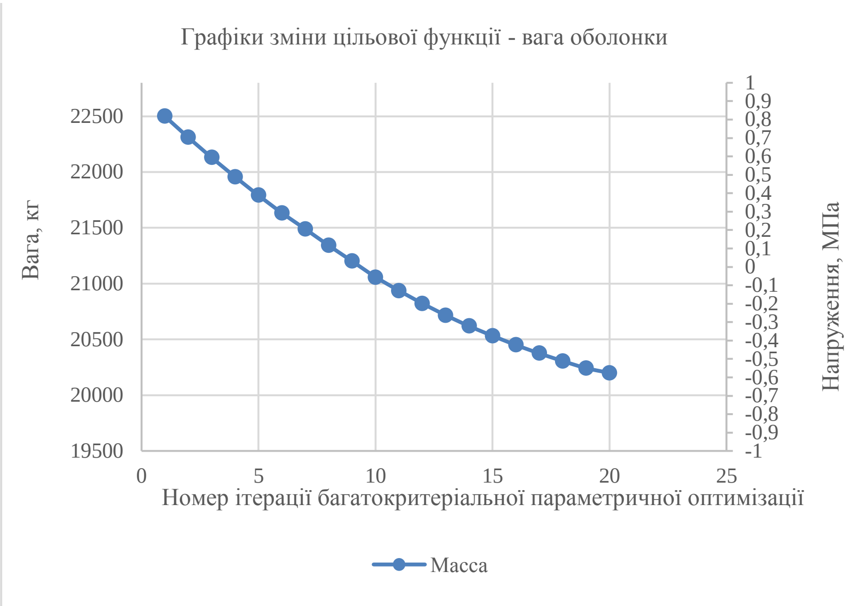

Рис. 23. Графік зміни цільових функцій: вага по ітераціям однокритеріальної параметричної оптимізації

Результати чисельних досліджень оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. За допомогою програмного комплексу Femap with Nastran і власного програмного забезпечення побудовано і виконано дослідження однокритеріальної параметричної оптимізації. Результати зміни цільової функції – зменшення ваги оболонки на 2300 кг сталі С240, що є у відсотковому еквіваленті 10,3% без втрати міцності і стійкості оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. Графік зміни цільової функції зображений на рис. 23. Представлені 10 форм і частот коливання оболонки, до, і після оптимізаційного розрахунку рис. 2–21. Перша вимушена частота коливання після оптимізаційного розрахунку від термосилового навантаження становить 0,151482 Hz, що фактично представлено обмеженням. Розподілення товщини оболонки зображено на рис. 22, що коливається від 40 мм до 2 мм.

Загальний висновок. За допомогою методики автора та власного програмного забезпечення є можливість виконувати ефективний оптимізаційний розрахунок для оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі. Застосування двох типів видів оптимізації на одному об’єкті дослідження є важливою прикладною задачею для будівельної і прикладної механіки.

Список літератури:

1. Герасимов, Е.Н., Почтман Ю.М., Скалозуб В.В. Многокритериальная оптимизация конструкций. Донецк: Вища шк. Главное Изд–во – Киев. 1985. 134 с.
2. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985. 509 с.
3. Іванченко Г.М., Чеверда П.П., Кушніренко М.Г., Козовенко А.М. Аналіз реакцій в елементах просторових схем при різних способах з’єднань. *Опір матеріалів і теорія споруд*. К.: КНУБА, 2012. Вип. 90. С. 163–170.
4. Кошевий О.О. Оптимальне проектування циліндричних резервуарів з жорсткими оболонками покриття. *Опір матеріалів і теорія споруд*. К.: КНУБА, 2019. Вип. 103. С. 253–265.
5. Кошевий О.О. Оптимізація стального звареного резервуару при обмеженні: напружень, переміщень, власних частот коливання. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. К.: КНУБА. 2018. Вип. 3. С. 34–50.
6. Кошевий О.О., Кошева І.С. Багатокритеріальна параметрична оптимізації в парі цільових функцій: вага і переміщення оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі при термосиловому навантажені. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2022. № 49 (1). С. 66–78.
7. Кошевий О.П. Кошевий О.О. Чисельне дослідження власних коливань розтягнутих оболонок утворених мінімальними поверхнями. *Містобудування та територіальне планування*, Вип. 55. Київ, КНУБА, 2015. С. 215–227.
8. Кошевий О.П. Кошевий О.О. Власні коливання оболонок мінімальних поверхонь на круглому та квадратному контурі. *Містобудування та територіальне планування*, Вип. 59. Київ, КНУБА, 2016. С. 234–244
9. Кошевий О.О., Кошевий О.П., Григор’єва Л.О. Чисельна реалізація багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі при термосиловому навантаженні. *Опір матеріалів і теорія споруд*. К.: КНУБА, 2022. Вип. 108. С. 309–324.
10. Кривошапко С.В., Иванов В.Н., Халаби С.М. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчету на прочность тонких оболочек. М.: Наука, 2006. 544 с.

References:

1. Herasymov, E.N., Pochtman, YU.M., Skalozub, V.V. (1985). Mnohokryteryal′naya optymyzatsyya konstruktsyy. (Multicriteria optimization of structures). Donetsk: Vyshcha shk. Hlavnoe Yzd–vo – Kyev. 134 s.
2. Hyll, F., Myurrey, U., Rayt, M. (1985). Praktycheskaya optymyzatsyya (Practical optimization). M.: Myr. 509 s.
3. Ivanchenko, G.M., Cheverda, P.P., Kushnirenko, M.G., Kozovenko, A.M. (2012). Analysis of reactions in the elements of spatial patterns at different bonding techniques. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Issue 90. P. 163–170.
4. Koshevyi, O.O. (2019). Optymal′ne proektuvannya tsylindrychnykh rezervuariv z zhorstkymy obolonkamy pokryttya. (Optimal design of cylindrical tanks with rigid coating shells). *Opir materialiv i teoriya sporud*. Vyp. 103. P. 253–265.
5. Koshevyi, O.O. (2018). Optymizatsiya stal′noho zvarenoho rezervuaru pry obmezhenni: napruzhen′, peremishchen′, vlasnykh chastot kolyvannya. (Optimization of steel welded tank with limitation: stresses, displacements, natural frequencies of oscillations). *Budivel'ni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka*. Vyp. 3. P. 34–50.
6. Koshevyi, O.O., & Kosheva I.S. (2022). Multicriterial parametric optimization in a pair of target functions: weight and movement of the shell minimum surface on the straight. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 49 (1), 66–78.
7. Koshevyi, O.P., Koshevyi, O.O. (2015). Chysel′ne doslidzhennya vlasnykh kolyvan′ roztyahnutykh obolonok utvorenykh minimal′nymy poverkhnyamy. (Numerical study of natural oscillations of stretched shells formed by minimal surfaces). *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya*, Vyp. 55. P. 215–227.
8. Koshevyi, O.P., Koshevyi, O.O. (2016). Vlasni kolyvannya obolonok minimal′nykh poverkhon′ na kruhlomu ta kvadratnomu konturi. (Own oscillations of shells of minimal surfaces on a round and square contour). *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya*, Vyp. 59. P. 234–244
9. Koshevyi, O.O., Koshevyi, O.P., Grigoryeva, L.O. (2021). Numerical implementation of multicriteria parametric optimization of minimum surface shell on a rectangular contour under the rmalloading. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Issue108. P. 309–324.
10. Kryvoshapko, S.V., Yvanov, V.N., Khalaby, S.M. (2006). Analytycheskye poverkhnosty: materyaly po heometryy 500 poverkhnostey y ynformatsyya k raschetu na prochnost′ tonkykh obolochek. (Analytical surfaces: materials on the geometry of 500 surfaces and information for the calculation of the strength of thin shells). M.: Nauka. 544 s.

G.M. Ivanchenko, O.O. Kosheviy, I.P. Zhupanenko

Parametric optimization of frequency oscillation minimum surface shell on a rectangular contour under thermal load

Providing all parameters according to two groups of limit states at the design stage is a multi–criteria task. Optimal design helps to perform such tasks. When the phenomenon of resonance occurs, it is necessary to change the frequency of forced oscillations of the load–bearing structures of various tanks and coatings in order to ensure sufficient strength and stability of the structure and the building in general. For this purpose, there is a separate type of problem in optimal design that allows us to *change the forced frequencies of oscillations using the example of the shell of the minimum surface on a rectangular contour.*

In mathematical point of view, optimal design tasks are optimization tasks, finding the extremum of the target function (maximum or minimum). Methods of solving optimal design problems can be conditionally divided into two groups. One of them will include methods that are based on using necessary conditions for the extremum of the objective function. The second group includes methods: linear, convex and dynamic programming, random search methods. The application of modern methods of mathematical optimization requires powerful PCs with a large RAM, therefore, when choosing optimization, it is necessary to take into account the capabilities of computer equipment.

The optimization algorithm for single–criteria parametric optimization is performed as follows: the objective function is the weight of the shell of the minimum surface on a rectangular contour, the design variables are the shell thickness from 1 to 50 mm, the constraints are presented with first forced oscillation frequency is 0,15 Hz.

Using software complex Femap with Nastran and our own software, a single–criterion parametric optimization was made. The results of changing the objective function are reducing the weight of the shell by 2300 kg of C240 steel, which is equivalent to 10,3% without losing the strength and stability of the minimum surface shell on a rectangular contour. Using author's methodology and own software, it is possible to perform an effective optimization calculation for the minimum surface shell on a rectangular contour.

Keywords: optimization, parametric optimization, one–criterion parametric optimization, shape optimization, forced oscillation frequencies, minimal surface shell, objective function, structural weight, design variables, constraints, limit, shell thickness.

Посилання на статтю

APA: Ivanchenko, G.M., Kosheviy, O.O., & Zhupanenko I.P. (2022). Parametric optimization of frequency oscillation minimum surface shell on a rectangular contour under thermal load. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 50 (1), 22–34.

ДСТУ: Іванченко Г.М., Кошевий О.О., Жупаненко І.В. Параметрична оптимізація вимушених частот коливання оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі при термосиловому навантажені. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2022. № 50 (1). С. 22–34.