

УДК 624.074.5

КРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СІТЧАСТИХ ОБОЛОНОК

О. І. Сіянов

У статті наведено критеріальний підхід до визначення оптимальних прямокутних в плані сітчастих оболонок. Оцінено показники і здійснено заміну критерію мінімуму вартості конструкцій на критерій мінімуму об'єму матеріалу.

Розроблено методика отримання оптимального конструктивного рішення прямокутних в плані сітчастих оболонок. Показано здатність створеного алгоритму здійснювати генетичні процедури з виключенням умовно необхідних стержнів.

Запропоновано схему алгоритмічної моделі у вигляді прикладного модульного програмування і на конкретному прикладі продемонстровано результат оптимізації сітчастої оболонки.

Ключові слова: оптимальні сітчасті оболонки, критеріальний підхід, система обмежень, алгоритмічна модель, модульне програмування.

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК

А. И. Сиянов

В статье приведен критеріальный подход к определению оптимальных прямоугольных в плане сетчатых оболочек. Оценены показатели и осуществлена замена критерия минимума стоимости конструкций на критерий минимума объема материала.

Разработана методика получения оптимального конструктивного решения прямоугольных в плане сетчатых оболочек. Показана способность созданного алгоритма осуществлять генетические процедуры с исключением условно необходимых стержней.

Предложена схема алгоритмической модели в виде прикладного модульного программирования и на конкретном примере продемонстрирован результат оптимизации сетчатой оболочки.

Ключевые слова: оптимальные сетчатые оболочки, критеріальный подход, система ограничений, алгоритмическая модель, модульное программирование.

CRITERIA WAY TO DETERMINATION OF OPTIMAL CONSTRUCTIONS OF THE NETWORK SHELLS

O. Siyanov

In the article is presented criteria way to determination of the optimal rectangular in a plan reticulated shells. Indexes are appraised and substituting of criterion of a minimum of cost of constructions on the criteria of a minimum of volume of material is accomplished.

The methods of receipt of optimal structural decision of the rectangular in a plan reticulated shells are worked out. Ability of the created algorithm to carry out genetic procedures with an exception conditionally of necessary bars is shown.

The scheme of algorithmic model is offered as an application module programming and on a concrete example the result of optimization of the reticulated shell is shown.

Keywords: the optimal reticulated shells, criteria way, system of limitations, algorithmic model, modular programming.

Постановка проблеми

Наявні розробки в сфері сітчастих оболонкових конструкцій дозволяють констатувати факт відсутності єдиного підходу до вибору потрібної і прийнятної у всіх відношеннях стержневої

форми. Досить проблемним залишається пошук прямокутних в плані сітчастих криволінійних систем, які б відповідали критеріям оптимальності з урахуванням визначеного заздалегідь функціонального призначення і заданих розмірів.

Багато геометричних параметрів знаходяться у взаємозалежному зв'язку з окресленням сітки і забезпечують реалізацію безпечної роботи конструкцій під навантаженням. Потрібно лише знайти резервні можливості для пошуку оптимальних рішень і об'єднати їх в загальну систему.

Огляд публікацій і задачі

Зроблені в науковій літературі [1–3] спроби поєднання ключових параметрів торкаються в основному прямолінійних структурних конструкцій, які за багатьма показниками істотно відрізняються від сітчастих оболонок. Але криволінійні системи потребують не тільки вирішення питань пошуку раціональних співвідношень геометричних параметрів. Вони також висувають вимоги до вузлових з'єднань [4], які повинні забезпечувати раціональний розподіл зусиль і обов'язково жорстке затиснення стержнів у напрямку нормалі до поверхні оболонок [5, 6].

Указані задачі слід вирішувати з позицій мінімізації витрат з накладеними обмеженнями, які в тій, чи іншій мірі пов'язані з роботою сіток. Отже проблема оптимізації прямокутних в плані сітчастих оболонкових конструкцій є актуальною і такою, яка потребує системного наукового вирішення.

Мета роботи

Ряд критеріїв, таких як матеріаломісткість, вартість встановленої в проектне положення конструкції, а також вартість виготовлення, транспортування і монтажу, які потрібно мінімізувати з урахуванням накладених обмежень, поданих у вигляді рівностей і нерівностей, формулюють мету роботи і орієнтують на вирішення поставлених задач.

Критерії та обмеження

Зупинимось спочатку на критерії вартості як кон'юнктурному критерію, адже часовий інтервал, в якому ціни залишаються на одному рівні, як правило, не великий. Тут безумовно слід сказати про доцільність спрощення зазначеного критерію, особливо для прямокутних в плані сітчастих оболонок. Зокрема їх вартість монтажу і транспортування потрібно переглядати тільки тоді, коли власна вага і розміри відправної одиниці змінюються більш ніж на 40 %. В реальній практиці пошуку оптимального рішення форма сітки і тип перерізу елементів часто зумовлюються самою технологією виготовлення. Тому кількість швів, отворів, болтів і з'єднань мало відрізняється, а відтак слабо впливає на зміну трудомісткості і вартості їх виготовлення. На шляху до зменшення вартісних показників виконаємо заміну критерію мінімуму вартості прямокутних в плані сітчастих оболонок на критерій мінімуму об'єму матеріалу

$$V = \sum_{i=1}^n A_i l_i = \min, \quad (1)$$

де A_i, l_i – відповідно площі поперечного перерізу і довжини стержнів.
З урахуванням вузлових деталей

$$V = \sum_{i=1}^n A_i l_i + \sum_{j=1}^k A_j l_j = \min, \quad (2)$$

де A_j, l_j – площі поперечного перерізу і довжини додаткових елементів відповідно.
Обмеження, які пов'язані з граничною гнучкістю стержнів представимо у вигляді початкового запису

$$A_i \leq A_u, \quad (3)$$

де A_u – граничне значення площі поперечного перерізу стержнів.
Аналогічно отримаємо обмеження, що вказують на габаритні параметри конструкції

$$L \leq L_u, B \leq B_u, H \leq H_u, \quad (4)$$

де L, B, H – довжина, ширина і висота оболонки відповідно;
 L_u, B_u, H_u – граничні значення геометричних розмірів.

Кількість стержнів приймемо за варіативний параметр при недопущенні геометричної змінюваності та виключення опорних елементів.

Зазначені таким чином конструктивні обмеження розпишемо у похідному вигляді відповідно в локальній і глобальній формах

$$f_i \leq f_u, f_{\max} \leq f_u, \quad (5)$$

де f_i, f_{\max}, f_u – фактичне переміщення вузлів, максимальне і граничне його значення відповідно.

Крім того, виконаємо накладання обмежень на параметри, які відповідатимуть за несучу здатність окремих елементів у вигляді умов міцності і стійкості

$$u_i \leq u_f, \sigma_i \leq \sigma_{cr}, \quad (6)$$

де u_i, u_f – питома і гранична енергії формозміни матеріалу відповідно;
 σ_i, σ_{cr} – напруження і його критичне значення відповідно.

Представлений алгоритм введено в спеціально розроблену комп'ютерну програму з використанням прикладних функціональних модулів.

Особливість даного алгоритму полягає в тому, що він дозволяє отримувати оптимальні прямокутні в плані сітчасті оболонки як прямим методом, так і шляхом виключення умовно необхідних стержнів. Іншими словами передбачена можливість використовувати його у вигляді генетичного алгоритму з пошуком мінімальної суми зусиль на сітчастій поверхні.

Розрахункові дані про конструкцію можна отримати в будь-якому сучасному комплексі: SCAD, ЛІРА, Nastran, ANSYS [7–10]. Алгоритмічну модель в такому випадку доцільно подати у вигляді прикладного модульного програмування (рис. 1).

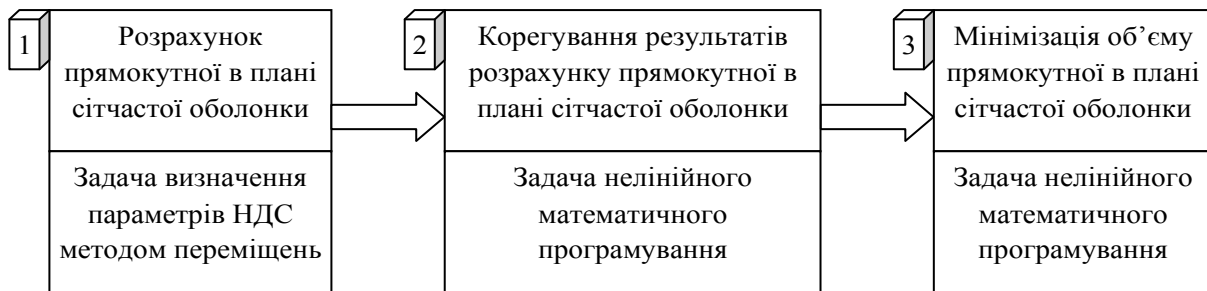


Рисунок 1 – Схема прикладної алгоритмічної моделі

Результат реалізації алгоритму

Для наочності на конкретному прикладі наведено результат реалізації алгоритму.

Як вихідну конструкцію взято сітчасту оболонку з розмірами в плані $L \times B = 30 \times 24$ м і висотою $H = 6,93$ м [11], утворену поздовжніми і поперечними ребрами та низхідними розкосами з вузловим обпиранням по контуру. Зовнішні розподілені тиски $q = 2$ кН/м² [12] переведені через розраховані вантажні площі в зосереджені сили, які прикладені до вузлів.

Використано програму з указаним вище алгоритмом з можливістю задіяти необхідні генетичні процедури для здійснення природного відбору.

За результатами пошуку оптимального рішення знайдено нову конструкцію сітчастої оболонки з виключеними діагональними стержнями в ділянці гребеня.

На рис. 2 наведено схеми суміжних граней верхньої зони прямокутної в плані сітчастої оболонки: а – у початковому стані і б – за наслідками проходження через алгоритм.



Рисунок 2 – Схеми суміжних граней верхньої зони прямокутної в плані сітчастої оболонки:
 а – початкова; б – оптимізована; 1, 2, 3 – поздовжні, поперечні і діагональні стержні;
 о – опорні вузли

Таким чином у підсумку маємо скорочення кількості елементів з 208 до 192. Крім того по всій поверхні досягнуто зменшення об'єму на 12 %, що реально полегшило оболонку і забезпечило відчутну економію матеріалу та трудовитрат.

Разом з тим за відсутності діагональних стержнів в ділянці гребеня і у випадку використання світлопрозорої покрівлі отримано додатковий простір для покращення природної освітленості приміщення.

Висновки

- Створено критеріальний підхід до визначення оптимальних прямокутних в плані сітчастих оболонок з урахуванням можливого розширення функціонального призначення і заданих розмірів.
- Виконано оцінку основних показників і здійснено заміну критерію мінімуму вартості конструкцій на критерій мінімуму об'єму матеріалу.
- Розроблено методику отримання оптимального конструктивного рішення прямокутних в плані сітчастих оболонок в рамках накладання системи конструктивних і розрахункових обмежень.
- Показано здатність створеного алгоритму здійснювати генетичні процедури з виключенням умовно необхідних стержнів.
- Запропоновано схему алгоритмічної моделі у вигляді прикладного модульного програмування і на конкретному прикладі продемонстровано результат оптимізації сітчастої оболонки.

Використана література

1. Ольков Я. И. Структурная оптимизация пространственных металлических стержневых конструкций методом исключения условно необходимых стержней / Я. И. Ольков, А. В. Андронников // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте : сб. науч. трудов. – Самара : СамГАСА, 2002. – С. 289-292.
2. Шимановский В. Н. Оптимальное проектирование пространственных решетчатых покрытий / В. Н. Шимановский, В. Н. Гордеев, М. Л. Гринберг. – К. : Будівельник, 1987. – 224 с.
3. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пособие для вузов / А. Г. Трущев. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с.
4. Свердлов В. Д. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий : дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. – К., 1977. – 174 с. – Библиогр.: С. 153-161.
5. Рюле Г. Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения / Г. Рюле ; пер. с нем. – Том 2. – М. : Стройиздат, 1974. – 247 с.
6. Сіянов О. І. Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок : монографія / О. І. Сіянов. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 140 с.
7. Вычислительный комплекс SCAD / [В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко и др.]. – М. : Издательство «СКАД СОФТ», 2009. – 656 с.
8. Барабаш М. С. ЛИРА 9.2. Примеры расчета и проектирования : учеб. пособие / М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский, Д. В. Марченко, В. П. Титок. – К. : Изд-во «Факт», 2005. – 106 с.
9. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for Windows. / Д. Г. Шимкович. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 704 с.

10. Каплун А. Б. ANSYS в руках інженера / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева : практ. руководство. – М. : Едитореал УРСС, 2003. – 159 с.
11. Сіянов О. І. Визначення переміщень вузлів металевого циліндричного стержневого покриття за допомогою методу розкладання на плоскі грані і обчислювального комплексу SCAD / О. І. Сіянов, С. В. Риндюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : наук.-техн. збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2012. – № 1 (12). – С. 16–19.
12. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи / Мінбуд України. – К. : вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.

Сіянов Олександр Ілліч – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Сіянов Олександр Ілліч – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Alexander Siyanov – Ph.D., assistant professor of Department of Industrial and Civil Engineering Vinnytsia National Technical University.