

УДК 539.3

Кошевий О.О.,
380939339872@yandex.ua, ORCID 0000-0002-1903-2905,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ І РОЗРАХУНОК НА ПРОГІН ОБОЛОНОК ПРИ ДІЇ СТАТИЧНИХ КОМБІНОВАНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.

За допомогою методу скінченних елементів і параметричної оптимізації проведено дослідження: напружень, переміщень, розподілу товщини для конусної і пологої циліндричної оболонки при дії статичних навантажень. Виконаний збір навантаження згідно будівельних норм. При розрахунку виконано мінімізація маси і розподілення товщини оболонок, при обмеженні переміщень по осям X,Y,Z. Побудовані діаграми зменшення маси оболонки по циклам оптимізації та зроблені загальні висновки.

Ключові слова: оптимізація, оптимальне проектування, оптимізація оболонок; оптимізація за переміщеннями, оптимізація Femap Nastran.

Вступ. В теорії оптимального проектування розглядаються задачі визначення форми, розрахункової моделі, внутрішніх властивостей і умов роботи конструкції, які приводять до екстремуму (мінімум чи максимум) вибраної характеристики конструкції при додаткових обмеженнях.

В [1,2] представлені спеціальні алгоритми деформування оболонок, як еволюційні задачі у просторі станів деформування скінченно-елементних моделей.

З математичної точки зору задача параметричної оптимізації зводиться до пошуку невідомого вектора змінних \bar{X} , який мінімізує цільову функцію $F(\bar{X}) \rightarrow \min$, за заданих обмежень у вигляді рівнянь і нерівностей. Змінні \bar{X} називаються змінними проектування. До них можуть бути віднесені розміри поперечних перетинів елементів, зусилля в елементах, координати характерних вузлів конструкції. До обмежень відносяться граничні характеристики матеріалів, обмеження, пов'язані з конструктивними вимогами, вимоги невід'ємності деяких значень змінних проектування.

Перші роботи по оптимальному проектуванню деформованих систем виконані Лагранжем більш 200 років тому назад. Була поставлена і виконана методами варіаційного числення задача про оптимальну форму колони, яка працює на стиск. Але не менш інтенсивний розвиток теорії оптимального проектування конструкцій почалося лише в другій половині XX ст. у зв'язку з

розвитком методів математичного програмування і теорії оптимального керування, а також поява швидко діючих ЕОМ і ПК.

Основний етап при рішенні задачі оптимального проектування системи, яка деформується, вибір математичної моделі самої системи і моделі її матеріалу. В залежності від співвідношень основних геометричних параметрів розмірів мова може йти про стержневу систему, пластину або оболонку в тривимірному тілі. Важливим етапом являється також вибір моделі матеріалу системи (пружний, пружно-пластичний, жорстко-пластичний и т.д.) Крім того, матеріал може бути ізотропним, ортотропним або анізотропним.

В процесі оптимального проектування характеристики конструкцій зручно представляти у вигляді точки в деякому абстрактному просторі проектування. Положення точки в цьому просторі визначається параметрами проектування, які описують геометричні розміри конструкції і властивості її матеріалу. Параметри проектування можуть представлятися у вигляді дійсних чисел, функцій, векторів, множини дійсних чисел [3].

Для повного визначення поняття простору проектування і його описання перелічимо параметри, які використовуються на практиці проектувальника для опису конструкції.

Перше, до них відносяться група геометричних параметрів:

- форма зміни диска, пластинки або оболонки, форма серединної поверхні оболонки;
- форма границі диску, пластинки або оболонки;
- положення в просторі вузлів оболонки або пластини;
- конфігурація елементів комбінацій конструкцій.

Друге, сюди відносяться характеристики матеріалу конструкції:

- модуль пружності, модуль щільності;
- межа текучості;
- межа міцності;
- коефіцієнти визначальних законів, які описують пластичну деформацію, пружність і повзучість.

В якості параметрів проектування можна розглядати також зусилля попередньо напруженого стану конструкції.

Поставлена задача оптимізації завжди пов'язана з завданням деякого підпростору проектування. Іншими словами, проектувальник, який приступає до проектування конструкції, заздалегідь визначає її тип, деякі основні геометричні розміри і властивості матеріалів, встановлює допустимі межі зміни параметрів проектування.

Теоретичні відомості. При оптимізації використовується математичний метод проекції градієнта, який 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 на базі метода скінчених елементів будівельної механіки, це представлено в роботах [4,5,6]

Результати числових досліджень. В ході розв'язання задачі параметричної оптимізації, де обмеження є переміщення, знаходимо оптимум конструкції в ході мінімізації або максимізації цільової функції. Цільова функція є маса циліндричної або конусної оболонки. В процесі оптимізації оболонок або пластини підбирається товщина кожного скінченного елемента, на які буда розбита конструкція, що є проектними змінними. При зміні проектних невідомих повинно виконуватися обмеження, для нашого випадку, максимальні переміщення по осям X,Y,Z, які прикладені до кожного вузла скінчених елементів. Отримаємо загальні переміщення конструкції за допомогою обчислення:

$$\text{Total Translation} = \sqrt{T1 \text{ Translation}^2 + T2 \text{ Translation}^2 + T3 \text{ Translation}^2} \quad (1.1)$$

де T1 Translation – вузлові переміщення по осі X, T2 Translation – переміщення по осі Y, T3 Translation – переміщення по осі Z для конусної і циліндричної оболонки.

Об'єктом оптимізації є прототип Національного цирку України. Будівля має круглу форму в плані діаметром 50,3 метра. Будівля одноповерхова. Верхня відмітка комплексу +15.700 м; відмітка прибудови +4.000 м.

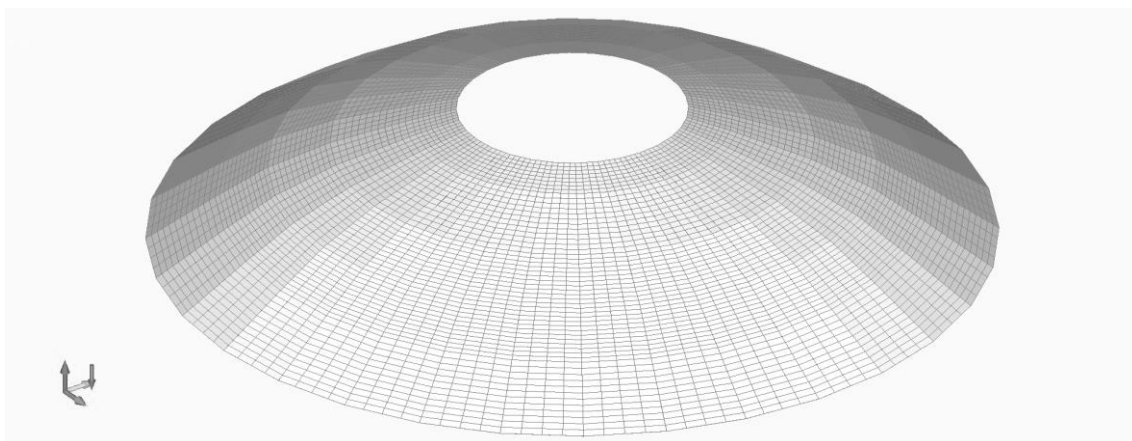


Рис 1.1. Скінченно-елементна модель пологої оболонки зі зламами

Першим із об'єктів дослідження є полого циліндрична оболонка зі зламами. Зовнішній діаметр оболонки 42 м, а внутрішній 11 м. Висота

оболонки 8.4 м. Задана товщина оболонки 7 мм. Оболонка по осі Z має 5 зламів, по колу 32. Оболонка виконується зі сталі С235. Коефіцієнт Пуассона 0.3. Результати представлені: напруження в МПа, вага в кілограмах, переміщення в мм. Розрахунок виконується методом скінчених елементів.

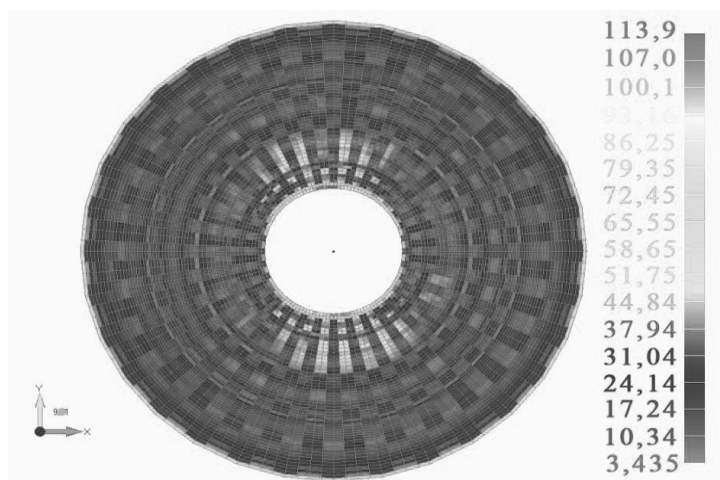


Рис 1.2. Напруження по Мізесу оболонки після оптимізації в МПа

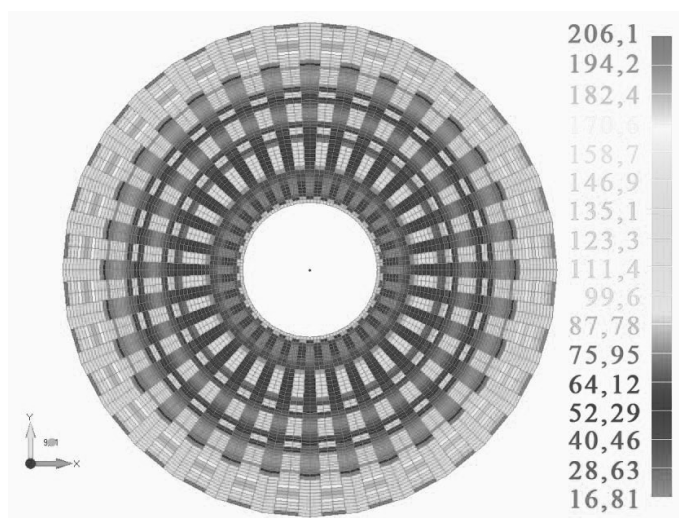


Рис 1.3. Напруження по Мізесу оболонки до оптимізації в МПа

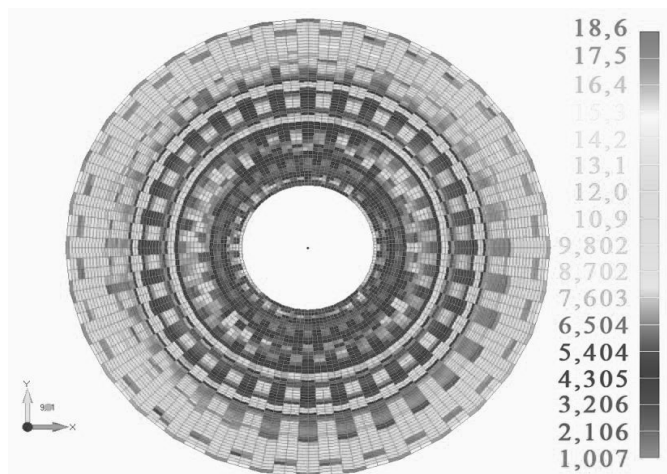


Рис 1.4. Розподіл товщини оболонки після оптимізації в мм

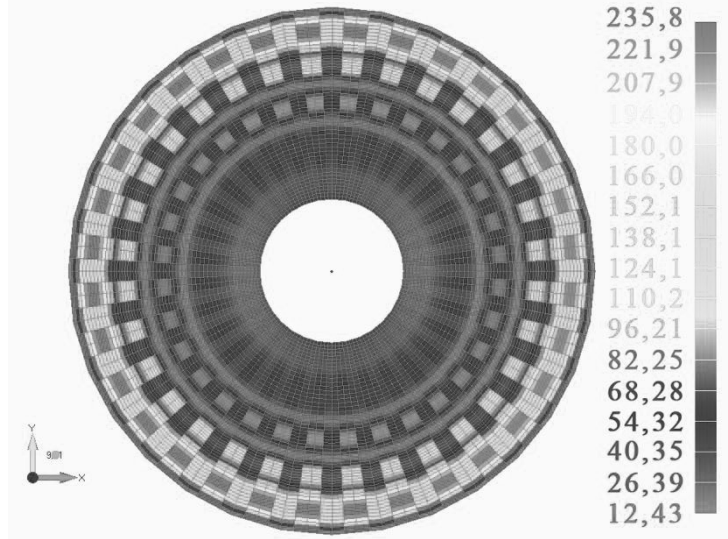


Рис 1.5. Загальні переміщення оболонки до оптимізації в мм

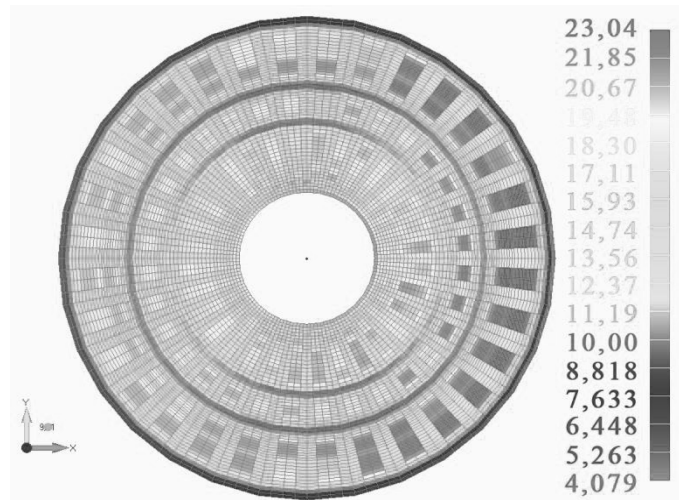


Рис 1.6. Загальні переміщення оболонки після оптимізації в мм

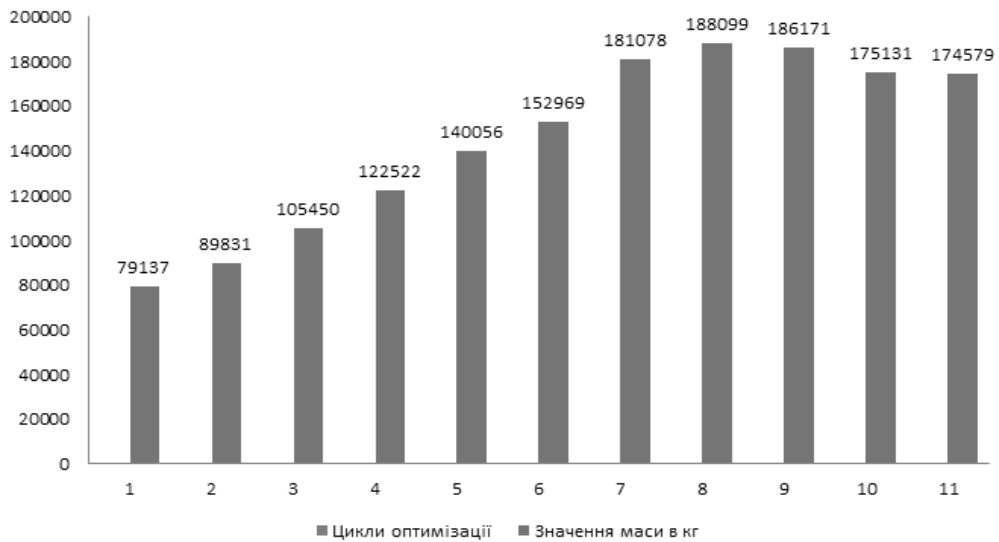


Рис 1.7. Діаграма маси пологої оболонки після оптимізації в кг.

Другим із об'єктів дослідження є циліндрична оболонка зі обрізаним конусом. Зовнішній діаметр оболонки 11 м, а внутрішній 2 м. Висота оболонки 1 м. Задана товщина оболонки 4 мм.

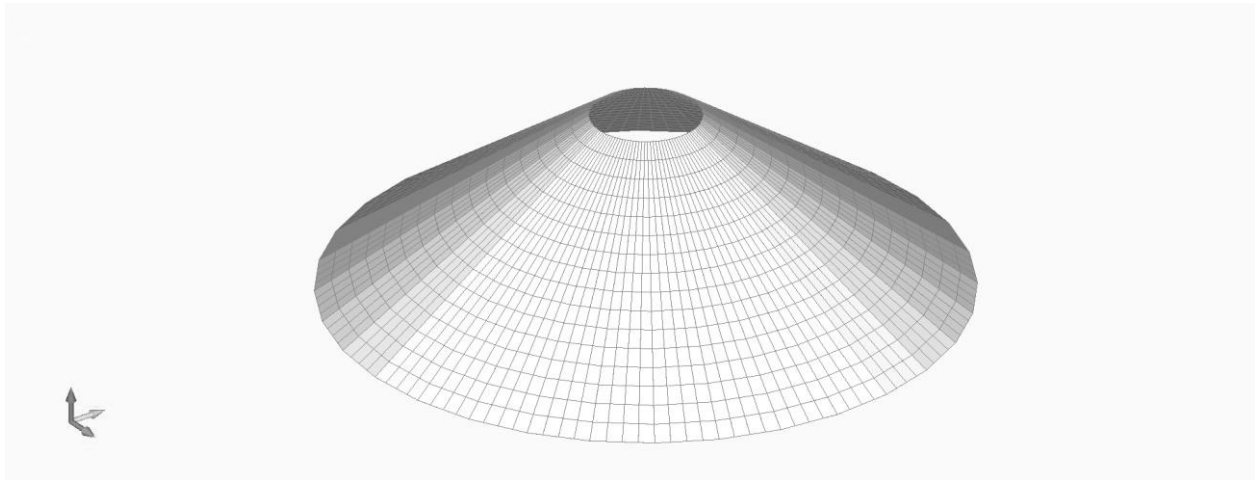


Рис 1.8. Скінченно-елементна модель конусної оболонки

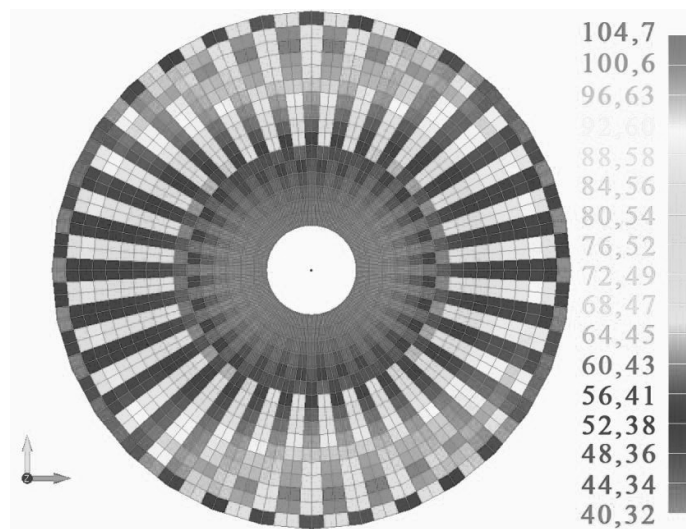


Рис 1.9. Загальні переміщення оболонки до оптимізації в мм

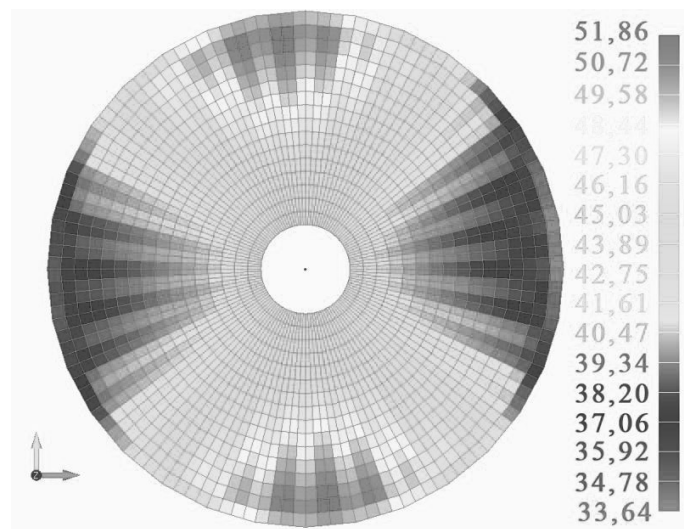


Рис 1.10. Загальні переміщення оболонки після оптимізації в мм

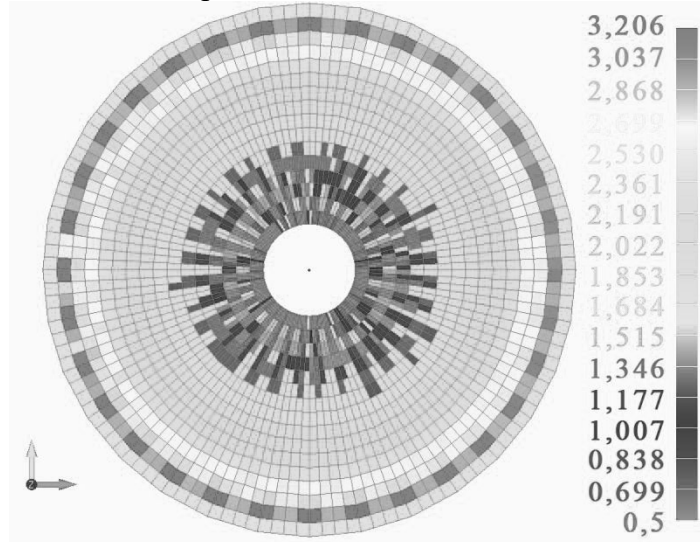


Рис 1.11. Розподіл товщини оболонки після оптимізації в мм

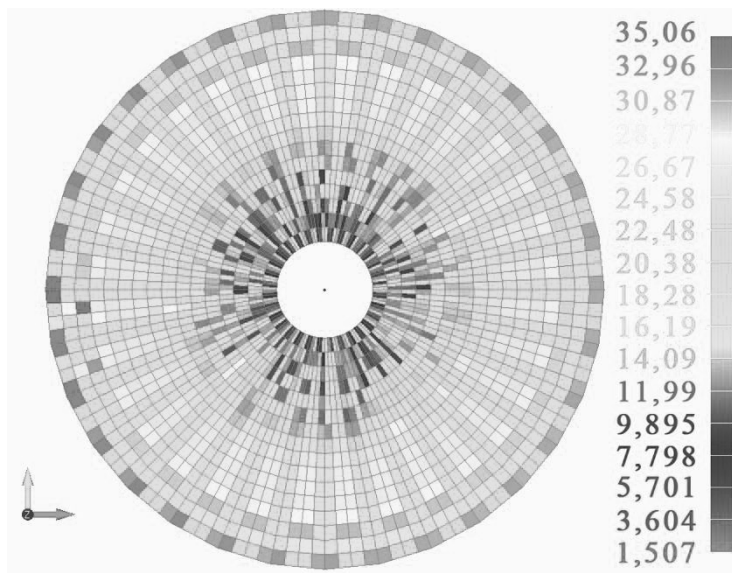


Рис 1.12. Напруження по Мізесу оболонки після оптимізації в МПа

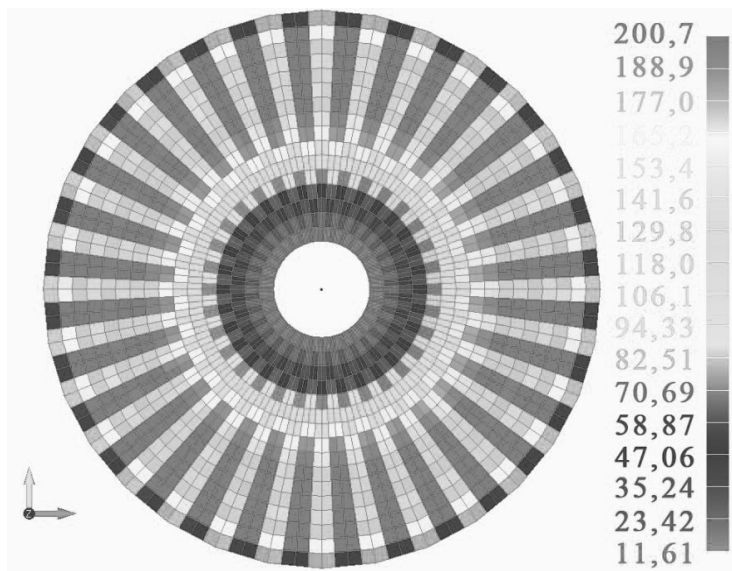


Рис 1.13. Напруження по Мізесу оболонки до оптимізації в МПа



Рис 1.14. Діаграма маси конусної оболонки після оптимізації в кг.

Висновки: За допомогою методу скінченних елементів розроблено просторову розрахункову модель, частину якої представлено на рис. 1.1 та 1.8. Виконувалися дослідження оболонок при статичному комбінованому навантаженню, яке було взято згідно будівельних норм України. Проведено параметричну оптимізацію для конусної і пологої циліндричної оболонки зі зламами. Дослідження показали, якщо взяти оболонку, яка оптимізована по напруженням $\sigma_{max} \leq \sigma_{adm} = 200 \text{ МПа}$. Результати представлені на рис. 1.3 та рис. 1.13., та оптимізувати її за переміщеннями по осям X,Y,Z, результати представлені рис. 1.6 та 1.10 отримаємо розподілення товщини оболонки рис. 1.4 та 1.11. При цьому на діаграмах рис. 1.7 та 1.14 збільшення маси оболонок від 200% до 300%, тобто оболонки значно раніше втратять свою несучу здатність за прогинами, чим за міцністю матеріалу. Після оптимізації за переміщеннями, напруження по Мізесу рис. 1.3 та 1.13 зменшилися від 200% до 600% в залежності від крайових ефектів оболонки. При параметричній оптимізації оболонок по товщині слід врахувати крайові ефекти, можливі випадки коли при концентрації напружень, слід розглядати задачі параметричної оптимізації окремо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цыхановский В.К. Несущая способность комбинированных оболочечных конструкций с учетом развития пластических деформаций /В.К. Цыхановский, С.М. Козловец, Н.А. Костыра // Промислове і цивільне будівництво та інженерні споруди, №3. - К: ВАТ "УкрНДПроектсталь-конструкція" ім. В.М. Шимановського, 2008. - С. 17–21.
2. Баженов В.А. Метод скінченних елементів у задачах нелінійного деформування тонких та м'яких оболонок / В.А. Баженов, В.К. Цыхановський, В.М. Кислоокій. – Київ: КНУБА, 2000. – 386 с.
3. Шимановский А.В. Теория и расчет сильно нелинейных конструкций / А.В. Шимановский, В.К. Цыхановский. – К.: ООО "Издательство Сталь", 2005. – 432 с.

4. Пермяков В.О., Перельмутер А.В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. – К: ООО “Издательство Сталь”, 2008. – 538 с.

5. Гайдайчук В.В., Кошевий О.О., Кошева О.В. Параметрична оптимізація колон при різній геометричній формі поперечного перерізу // Містобудування та територіальне планування, випуск 66. - К.: КНУБА, 2018. - С. 78-90.

6. Гайдайчук В.В., Кошевий О.О., Кошевий О.П. Оптимальне проектування і розрахунок на міцність оболонок і пластин при дії комбінованих навантажень в програмному комплексі Femap Nastran // Сучасні проблеми архітектури, випуск №50. - К.: КНУБА, 2018. – С. 314-324.

Кошевой О.О.,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ НА ПРОГИБ ОБОЛОЧЕК ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКИХ КОМБИНИРОВАННЫХ НАГРУЗОК.

С помощью метода конечных элементов и параметрической оптимизации, проведено исследование: напряжений по Мизесу, перемещений, распределения толщины для конусной и пологой цилиндрической оболочки под действием статических нагрузок. Сделан сбор нагрузок согласно строительным нормам Украины. При расчете выполнена минимизация массы и распределения толщины оболочек, при ограничении перемещений оболочек по осям X,Y,Z. Построены диаграммы уменьшения массы оболочек по циклам оптимизации, сделаны общие выводы.

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, оптимальное проектирование, оптимизация оболочек, оптимизация за перемещениями, оптимизация Femap Nastran.

Kosheviy O.O., postgraduate,

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv.

PARAMETRIC OPTIMIZATION AND CALCULATION DEFLECTION OF THE SHELLS UNDER COMBINED STATIC LOADS

The article analyzes a conical and flat cylindrical shell under combined static loads: stresses by Mezes, displacements, and thickness distributions, the finite element method, was used for parametrical optimization. Collected all loads that act to the shell in accordance, with building standards. Minimizing the weight and thickness distribution of the shells were calculated. The diagrams for reducing the weight of the shells by optimization cycles were drawn, conclusions were made.

Keywords: parametric optimization, optimal design, optimization of shells, optimization by displacements, optimization of Femap Nastran.