

Т.Є. Пітцик<sup>1,2</sup>, А.С. Цибенко<sup>1</sup>, А. Майер<sup>2</sup>, С. Вайна<sup>2</sup>

1 – Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського, м. Київ,

2 – Університет Отто фон Геріке, м. Магдебург

## КОМБІНОВАНИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ РАННІХ ЕТАПІВ РОЗРОБКИ ПРОДУКТУ

У галузях авіа- та машинобудуванні вага грає дуже важливу роль. Її зменшення покращує технічні характеристики всього виробу. Досягається це різними шляхами, як наприклад покращена вдосконалена взаємна будова конструкційних елементів, а також покращена, або ж оптимізована, форма конструкції певних одиничних або навіть усіх елементів конструкції. Алгоритми оптимізації дозволяють покращити базову геометрію деталі для отримання її мінімальної ваги за умови що навантаження не перевищить границю пластичності. В ході оптимізації зайві елементи базової структури видаляються. Отримана нова форма не обов'язково є єдиною, але єдиним є оптимальне значення ваги, яке задається спочатку обчислення як обмеження. Окрім цього, зменшення кількості матеріалу для виготовлення деталі є також економічним для виробника.

Оптимізація відбувається за допомогою детерміністичних та стохастичних алгоритмів. Перші приводять лише до одного результату, який не завжди може вийти найкращим. Стохастичні методи можуть генерувати декілька результатів на основі варіації параметрів. Але для них потрібно більше обчислювальних спроможностей для знаходження найкращого рішення. Подальший розвиток роботи вимагає поєднання обох алгоритмів, за допомогою чого можна використовувати всі переваги методів. Дослідження вже показали, що комбінований алгоритм оптимізації пропонує більш ефективні результати. Такі поєднані алгоритми розробляються, і один з них вивчається в цій роботі.

Метою роботи є створення кількох еквівалентних варіантів конструкції за допомогою алгоритму оптимізації, розробленого на кафедрі машинобудівної інформатики в університеті Отто фон Геріке в Магдебурзі.

Розрахунок відбувається за допомогою методу кінцевих елементів. Тверде деформівне тіло розбивається на сітку кінцевих елементів, густина розбиття має бути підібрана до моделі. До вузлів моделі прикладаються навантаження та задаються обмеження. Через вибір певних елементів сітки можуть бути обрані області, які не будуть зміненими в процесі оптимізації. Ці області, як у прикладі цієї роботи, будуть в місцях прикладення граничних умов. У якості цільової функції є мінімізація матриці податливості, що означає також максимізація значення жорсткості конструкції.

Спочатку модель є цілісною, за аналізом еквівалентних напружень за Мізесом недостатньо навантажені елементи видаляються, так що залишається лише оптимізована структура. Досягнення різних еквівалентних оптимізованих конструкцій може бути досягнуто через наступний алгоритм:

1. Стохастично створюються параметри областей, які встановлюються на моделі з матеріалом або без нього. Це є свого роду додаткові створювані граничні умови, які приймаються детерміністичним алгоритмом оптимізації.

2. Створення областей здійснюється через генетичний алгоритм. Через їх підбір та вдосконалення цим алгоритмом формуються нові покращені "покоління" моделей.

3. Проходить детерміністична оптимізація топології об'єкту з одним або багатьма встановлюваними точками.

4. За кроками 1, 2 та 3 створюються індивідууми та оцінюється їх величина податливості. Кількість індивідуумів в поколінні встановлюється за введеними початковими даними.

5. Весь процес повторюється поки не досягається критерій зупинки. Індивідуум кращої величини податливості останнього покоління і є кінцева пропозиція форми конструкції моделі.

На даному етапі дослідження алгоритму (він знаходиться ще на стадії розробки) розраховуються двомірні моделі. Для тривимірних алгоритм має бути ще вдосконалений.

Тому в даній роботі досліджується плоский напружений стан твердого деформівного тіла (пластини)  $100 \times 100 \text{ мм}^2$ , з товщиною 5 мм. Координатна система бере початок в її центрі, закріплення знаходяться в точках  $(-50, 50, 0)$  та  $(-50, -50, 0)$ . Сила прикладена вертикально і спрямована вниз у точці  $(50, 50, 0)$  з величиною 500 Н, див. рис.1. Для розрахунку обрана сталь, її модуль пружності 210 000 МПа, модуль зсуву 80 769,2 МПа, коеф. Пуассона 0,3 та густина матеріалу  $7,85 \text{ г/см}^3$ , межа пружності  $\sigma_{\text{пр}} = 210 \text{ МПа}$ , межа текучості –  $\sigma_{\text{т}} = 235 \text{ МПа}$ .

В ході оптимізації на моделі встановлюються точки певного радіусу, що в цій області змушують матеріал обов'язковим бути після оптимізації або навпаки, дають інформацію, що матеріалу в цій області не буде. Ці випадковим чином встановлені точки впливають на властивості податливості моделі та змушують систему пропонувати різні варіанти конструкції.

Модель оптимізації топології створюється в середовищі Nuroworks. Беремо квадратний простір, що закріплений з однієї сторони по куткам та навантажений вертикальною статичною силою в кутку з іншої сторони, як показано нижче.

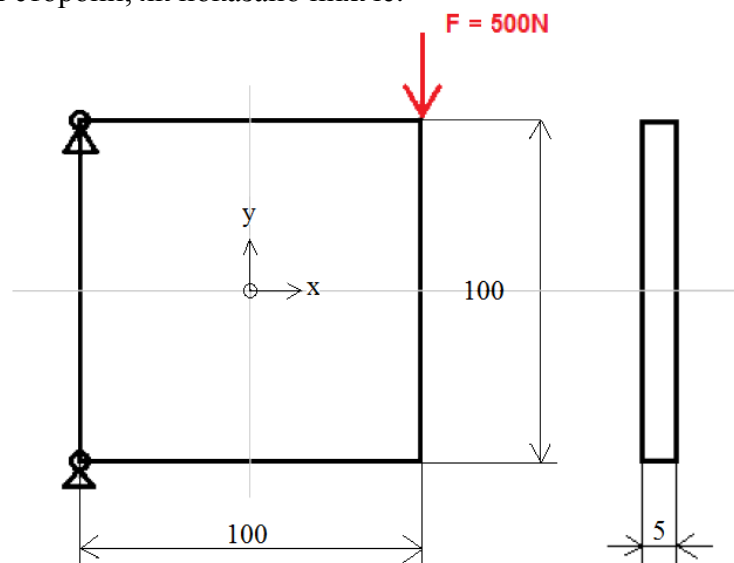


Рис. 1. Креслення моделі [1]

Обмеженням є використання 30% матеріалу від початкової його кількості. А цільова функція – мінімізація податливості.

Встановлюються два області на площині у формі кола, щоб дослідити зміну конструкції при таких умовах. Область з матеріалом може мати радіус 2...5 мм в області 30 мм від центру пластини, щоб уникнути недійсних конструкцій. І встановлюються область обов'язкової порожнечі радіуса 4...10 мм зі свободою виникнення по всій площині. Щоб задати правильну кількість поколінь для стохастичної оптимізації параметрів, їх взято з [2**Ошибка! Источник ссылки не найден.Ошибка! Источник ссылки не найден.Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Кількість поколінь складає 200 і величина індивідуумів на покоління – 40. Це привело до результатів, що представлені нижче.

На зображеннях з результатами синім кольором позначені області матеріалу що видаляється в процесі оптимізації, а червоним – ті області, де залишився він, це і представляє собою нову форму конструкції. Червоний колір також означає те, що там має залишитись твердий початковий матеріал зі максимальною своєю густиною. Усі інші відтінки фарб, від червоного до синього означають те, що матеріал там може бути пористий, тобто мати меншу густину.

На графіку нижче оранжевим кольором позначено результат звичайної детерміністичної оптимізації (без встановлення областей з матеріалом або його відсутністю), який дає лише одну пропозицію конструкції, та блакитним позначено результат завдяки застосування нового алгоритму.

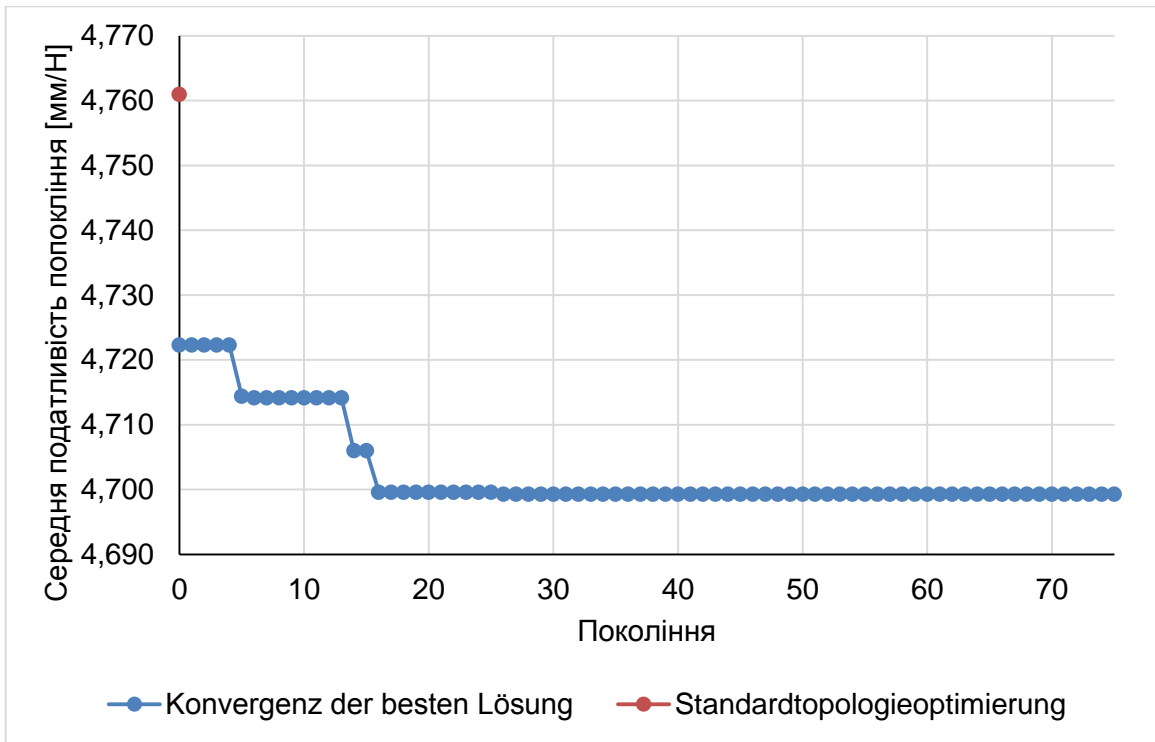


Рис. 2. Податливість від встановлення 2 точок, з та без матеріалу

Неважко побачити, що вже з першим поколінням величина податливості є 4,7223, при цьому початкова величина 4,7217 з оптимізації з однією точкою без матерії. І хоча задано 200 поколінь, конвергенція досягається за 75 і ця пропозиція має податливість 4,6993. Деякі результати представлені нижче.

Contour Plot  
Element Densities(Density)  
Simple Average

- 1.000E+00
- 8.900E-01
- 7.800E-01
- 6.700E-01
- 5.600E-01
- 4.500E-01
- 3.400E-01
- 2.300E-01
- 1.200E-01
- 1.000E-02
- No result

Max = 1.000E+00  
Grids 98  
Min = 1.000E-02  
Grids 2

1: Model  
Design : Iteration 15 : Frame 16

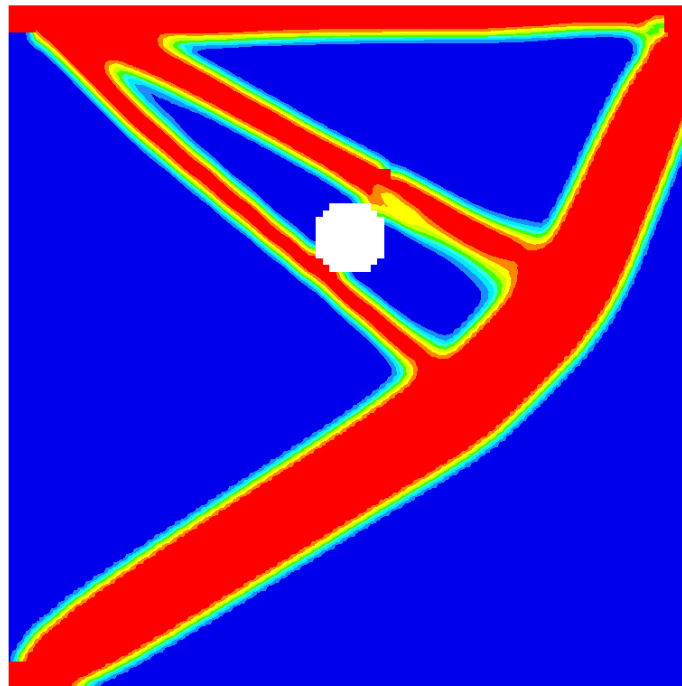
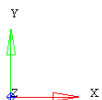


Рис. 3. Вигляд 15-го індивідуума 0 покоління 4,7312 мм/Н

Contour Plot  
Element Densities(Density)  
Simple Average

1.000E+00
8.900E-01
7.800E-01
6.700E-01
5.600E-01
4.500E-01
3.400E-01
2.300E-01
1.200E-01
1.000E-02

■ No result  
Max = 1.000E+00  
Grids 98  
Min = 1.000E-02  
Grids 2

1: Model  
Design : Iteration 14 : Frame 15

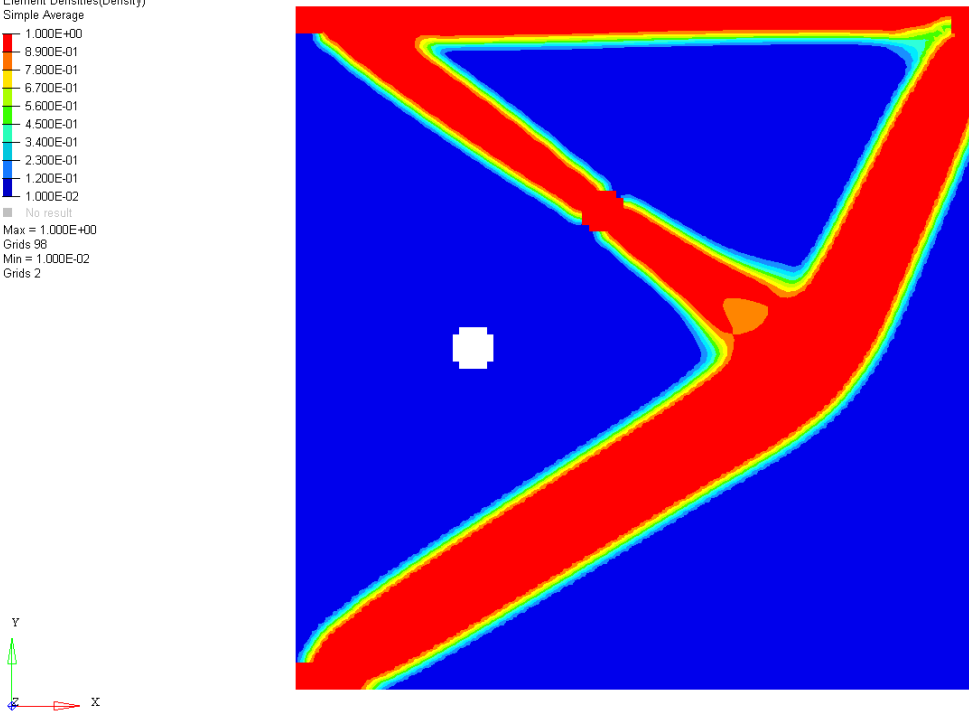


Рис. 4. Вигляд 45-го індивідуума 75 покоління 4,7042 мм/Н

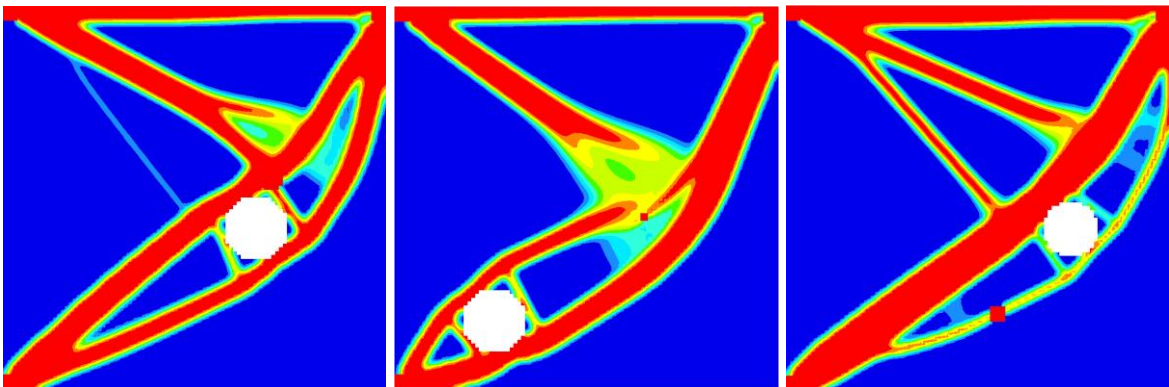


Рис. 5. Конструкції в результатах від встановлення 2х точок

Податливість для розглянутих прикладів є відповідно 5,0422, 5,1732 і 4,9639 мм/Н. Усі пропозиції з точки зору інженерії не прийнятні, але можуть знайти своє призначення в мистецтві.

**За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:**

Для різних методів отримання дизайну, алгоритм виявив себе як ефективний інструмент для ранніх фаз проектування продукту. За допомогою стохастичного додатку до детерміністичної оптимізації, під кінець розрахунку було отримано кращі результати аніж за звичайної оптимізації топології.

#### Список використаних джерел

1. Sebastian Roop: Erarbeitung eines Algorithmus zur Parameter- und Topologieoptimierung für frühe Phasen der Produktentwicklung, Masterarbeit, Fakultät für Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2016
2. Faez Ahmed, Kalyanmoy Deb, Bishakh Bhattacharya: Structural topology optimization using multi-objective genetic algorithm with constructive solid geometry representation. Elsevier Verlag. Applied Soft Computing 39, S. 240-250, 2016.