

Тарік (Мох'д Тайсір) Алі Аль Омари, аспірант НУ «Львівська політехніка»,  
В.М.Теслюк, к.т.н., доцент кафедри САП, НУ «Львівська політехніка»,  
П.Ю.Денисюк, к.т.н., ст. викл. кафедри САП, НУ «Львівська політехніка»,  
Хамза Алі Юсеф Аль Шавабкех, аспірант НУ «Львівська політехніка».

## **РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕМС**

У статті представлено розроблене інформаційне, лінгвістичне та математичне забезпечення підсистеми для розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації. Побудована модель для оптимізації конструкційних параметрів акустичних елементів МЕМС та наведено результати.

In the article the information, linguistic and mathematical software of subsystem for the decision of tasks of multicriterion optimization are developed. The model for optimization of construction parameters of acoustic elements of MEMS is built and results are presented.

### **Вступ**

При розробленні об'єктів різного функціонального призначення виникає потреба в розв'язанні 3 типів задач: аналізу, синтезу та оптимізації [1]. Ядром задач синтезу є оптимізація, яка призначена для знаходження найкращих результатів для об'єкта проектування в заданих умовах. У задачах оптимізації з одним критерієм потрібно визначити відповідне значення цільової функції. Під час аналізу та синтезу складних об'єктів та систем виникає проблема з необхідністю досягнення декількох цілей, які частково або повністю суперечать одна одній. Один з шляхів розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації (ЗБО) пов'язаний з вибором одного домінуючого, а інші приймаються як обмеження і оптимізація проводиться по домінуючому критерію. Такий підхід до розв'язання практичних задач значно знижує їх ефективність. Відомі системи для розв'язання задач лінійного програмування та імітаційного моделювання MATHCAD, MATLAB не дають можливості переглянути хід розв'язку та проміжні дані розрахунку. Тому, робота, яка присвячена розробленню підсистеми для розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації є актуальною.

### **1. Формулювання багатокритеріальної оптимізаційної задачі**

Задача багатокритеріального математичного програмування має такий вигляд, знайти оптимум для цільових функцій [2-6]:

$$\begin{aligned} & \text{Max}\{f_1(x) = F_1\}, \\ & \text{Max}\{f_2(x) = F_2\}, \\ & \dots \\ & \text{Max}\{f_k(x) = F_k\}, \end{aligned}$$

при виконання наступних обмежень:

$$g_i \leq B_i, \quad h_j \leq A_j, \quad d_l \leq C_l,$$

де  $X$  – множина допустимих значень змінних  $x$ ;  $k$  – число цільових функцій (критеріїв);  $F_i$  – значення  $i$ -го критерію (цільової функції), “*max*” – означає, що цей критерій потрібно максимізувати або мінімізувати;  $i = \overline{1, Ll}$ ;  $j = \overline{1, Gl}$ ;  $l = \overline{1, El}$ ;  $B_i, A_j, C_l$  - константи.

## 2. Особливості розроблення підсистеми

Структура підсистеми для розв’язання ЗБО є стандартною та складається з препроцесора, процесора, постпроцесора та модуля інтерфейсу.

Підсистема для розв’язання задач багатокритеріальної оптимізації включена в систему розв’язання оптимізаційних задач “OptimMEMS”. Для програмної реалізації було обрано середовище програмування Borland Delphi 7, з використанням об’єктно-орієнтованого підходу. Як мова програмування використовувався діалект мови Pascal – Object Pascal. Використання такого підходу дало можливість переносити підсистему на різні системні платформи.

Під час реалізації розв’язання задачі виникла необхідність оброблення великих масивів даних. Побудована підсистема дає змогу вводити вхідні дані з файлу та з допомогою вхідного меню. Організація структур даних в файлі передбачає жорстку структуру вхідного файлу. Зокрема вхідний файл для сформованого вхідного завдання включає інформацію про кількість змінних, кількість обмежень різних видів, масив значень коефіцієнтів для цільової функції, матриця коефіцієнтів для системи обмежень та вільних членів, код для пошуку мінімуму чи максимуму.

В процесі розроблення підсистеми побудовано інформаційну модель структури даних, зокрема:

$$\text{Model}_{\text{tab1}} = (N, Gl, El, Ll, Z_i, a, B, \text{MinMax}_i),$$

де  $N$  - кількість змінних;  $Gl$  - кількість обмежень типу більше-рівне;  $El$  - кількість обмежень типу рівностей;  $Ll$  - кількість обмежень типу менше-рівне;  $Z_i(N)$  - множина коефіцієнтів  $i$ -ої цільової функції;  $a(Gl + El + Ll, N)$  - множина коефіцієнтів обмежень в заданій послідовності;  $B(Gl + El + Ll)$  - множина коефіцієнтів вільних членів обмежень;  $\text{MinMax}_i$  -

множина параметрів типу оптимізаційних задач ( $MinMax = 0$  – пошук мінімуму,  $MinMax = 1$  – пошук максимуму).

Для опису структури даних використано нормальну форму Бекуса (НФБ).

Наприклад структура даних для розв'язання багатокритеріальної задачі лінійного програмування (ЛП) має наступну структуру:

- загальні параметри ЗБО;
- параметри симплекс таблиці.

Запишемо сказане вище, використовуючи НФБ, зокрема:

<параметри структури симплекс-таблиці>::={<опис СТ>;

< опис СТ >::=< загальні параметри ЗБО>;

< параметри симплекс таблиці>.

До загальних параметрів відносяться дані про кількість змінних, кількість змінних типу більше-рівне, кількість змінних типу рівне, кількість змінних типу менше-рівне та вид оптимізаційної задачі, що відобразимо з допомогою наступного:

< загальні параметри ЗБО >::=< кількість змінних >;

< кількість обмежень типу більше-рівне >;

< кількість обмежень типу рівне >;

< кількість обмежень типу менше-рівне >;

< код типу ЗБО >.

Кількість змінних може приймати наступні значення:

<кількість змінних >::=<число>;

<цифра>::=<число><цифра>|<число>;

<цифра>::=0|1|2|3|4|5|6|7|8|9.

Аналогічна ситуація для параметрів кількості обмежень типу більше-рівне, кількість змінних типу рівне, кількість змінних типу менше-рівне та вид оптимізаційної задачі

<кількість змінних типу більше-рівне >::=<число>;

<кількість змінних типу рівне >::=<число>;

<кількість кількості змінних типу менше-рівне >::=<число>;

< код типу ЗБО >::=<мінімізації>|<максимізації>;

< мінімізації >::=0;

< максимізації >::=1.

Оскільки симплекс-таблиця включає масиви для параметрів вільних членів обмежень, масив параметрів обмежень, масив параметрів цільової функції та масив параметрів штучної функції, то:

<параметри симплекс таблиці>::=<масив параметрів вільних членів>;

<масив параметрів обмежень >;

<масив параметрів цільової функції >;

<масив параметрів штучної функції >.

Для масивів:

<масив параметрів вільних членів>::= <число1>|<число2>|, ...,|<числоN>;

< масив параметрів обмежень > ::= <число1>|<число2>|,..., |<числоN>;  
 < масив параметрів цільової функції > ::= <число1>|<число2>|, ..., |<числоN>;  
 < масив параметрів штучної функції > ::= <число1>|<число2>|, ..., |<числоN>;  
 <число1> ::= <число>;  
 ... ;  
 <числоN> ::= <число>.

### 3. Результати розв'язання ЗБО

Розглянемо розв'язання ЗБО вихідних параметрів базових акустичних елементів МЕМС пластинчастих конструкцій.

Одним з основних параметрів будь-якого мікродавача є його чутливість, яка визначається як відношення приросту вихідного параметра до приросту вхідного. У випадку розрахунку чутливості  $S$  ємнісного мікрофона отримуємо [7]:

$$S = S_{mechanical} * S_{electrical} = \frac{\Delta d}{\Delta P} * \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{\Delta C}{\Delta P}, \quad (1)$$

де  $\Delta d$  - зміщення тонкої пластини;  $\Delta P$  - зміна акустичного тиску;  $\Delta C$  - зміна ємності.

Отже, необхідно знайти максимум виразу (1) (чутливості інтегрального мікродавача) [8]:  $\max S(t, L, \Delta d, U, \sigma_x, \sigma_y)$ , із виконанням таких умов:

$A \leq A_{max}$ ,  $t \geq t_{min}$ ,  $t \ll L$ ,  $\sigma_x \leq G_{max}$ ,  $\sigma_y \leq G_{max}$ ,  $0 \leq U \leq 3 * 10^6 (d - \Delta d)$ , де  $A$  - площа пружного елемента пристрою;  $t$  - товщина пластини;  $L$  - лінійний розмір пластини (діаметр, ширина, довжина);  $\sigma_x, \sigma_y$  - напруження, які не мають перевищувати максимально допустимі для матеріалу пластини, з відповідним коефіцієнтом запасу  $G_{max}$ ;  $U$  - напруга пробою (накладає обмеження на відстань між пластинами ємнісного елемента);  $A_{max}$  - максимально можливе значення площі пружного елемента пристрою;  $t_{min}$  - мінімально можливе значення товщини пластини;  $\Delta d$  - відстань між пластинами конденсатора.

Результати дослідження чутливості ємнісного мікрофона в залежності від зміни товщини пружного елемента для різних матеріалів зображено на рис.1 – рис.3, а основні параметри матеріалів наведено в таблиці 1.

З отриманих результатів слідує, що найкращими параметрами чутливості володіють пружні елементи з кремнію та полікремнію. Чутливість яких зростає при зменшенні товщини та збільшенні діаметра пружного елемента.

Таблиця 1

Властивості матеріалів, з яких виготовляються пружні елементи давачів  
ємнісного типу

Матеріал	Si	SiO <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	poly-Si	SiC
Модуль пружності $E$ , GПа	160	73	323	160	270
Густина $\rho$ , 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	2,4	2,3	3,1	2,34	3,2
Коефіцієнт Пуассона $\mu$	0,22	0,17	0,25	0,23	0,31
Допустимі напруження $[\sigma]$ , GПа	7	8,4	14	2,8	10,3

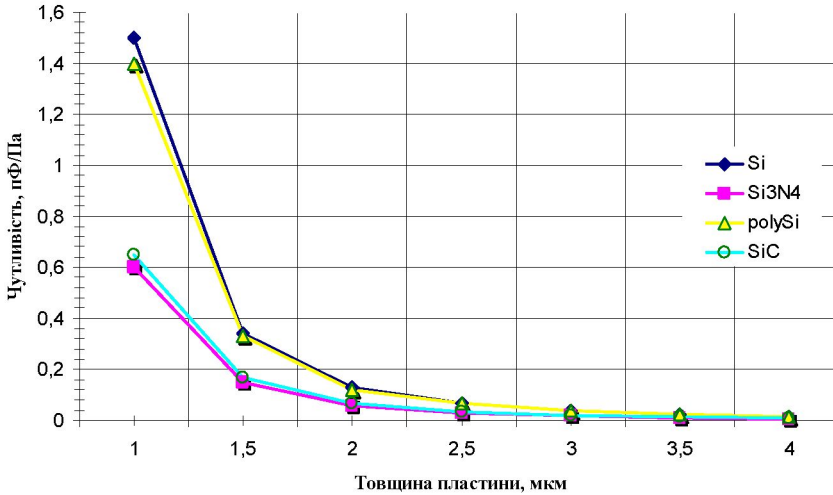


Рис. 1. Результати залежності чутливості емнісних мікрофонів від товщини пружного елемента

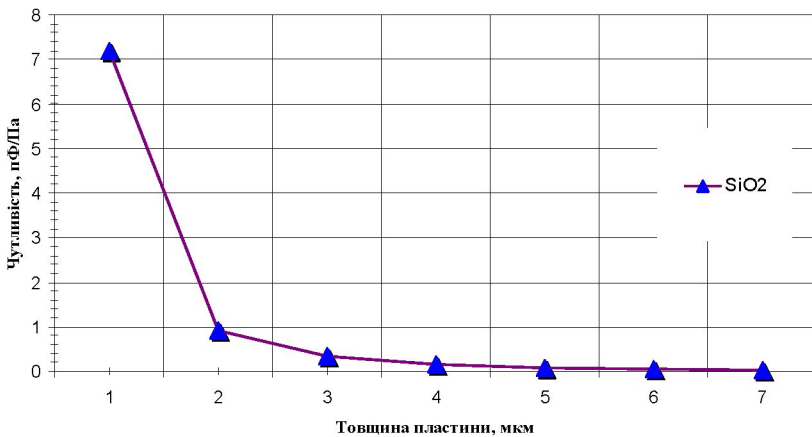


Рис. 2. Результати залежності чутливості емнісних мікрофонів від товщини пружного елемента

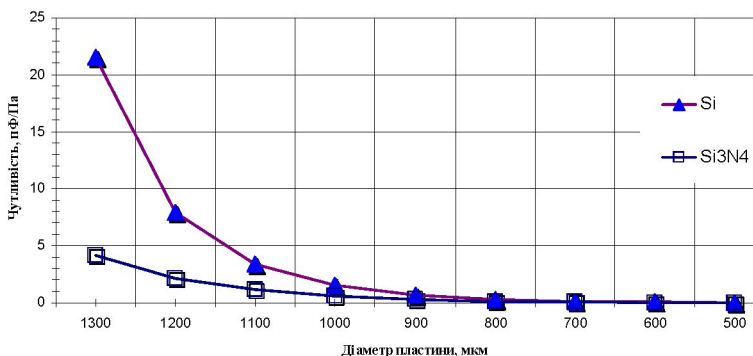


Рис. 3. Результати залежності чутливості ємнісних мікрофонів від діаметра пружного елемента

### Висновки

Розроблено структуру підсистеми для розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації. Побудовано лінгвістичне, інформаційне та програмне забезпечення та побудовано оптимізаційну модель. Отримані результати (див.рис.1-3) дають змогу стверджувати, що чутливість акустичного мікрофона зростає при зменшенні товщини пружного елемента. Мінімальна товщина обмежена напругою пробою та напруженнями, які виникають в пружному елементі конструкції ємнісного мікрофона.

1. *Норенков И.П.* “Автоматизированное проектирование” - Серия учебных пособий «Информатика в техническом университете», Москва 2000 – 188 с.
2. *Батищев Д.И.* Методы оптимального проектирования. - М.: Радио и связь, 1984. - 248с.
3. *Гилл Ф., Мюррей У., Райт М.* Практическая Оптимизация: Пер. с англ. - М.: Мир, 1985.-509с.
4. *Реклейтис Г., Рейвиндрон А., Рзгсдед К.* Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн. 1,2. Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 349 с.
5. *Шуб Т.* Решение инженерных задач на ЭВМ. Практическое руководство. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 238 с.
6. *Теслюк В.М., Андрійчук М.І.* Методи синтезу та оптимізації: Частина 1. Конспект лекцій з курсу “Методи синтезу та оптимізації”. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”. – 2005. – 64 с.
7. *Vasyl Teslyuk, Tariq (Moh'd Taisir) Ali AlOmari, Pavlo Denysyuk, Andriy Kernysky* Optimization Model for Output Parameters of MEMS's Base Elements of Plate Design // Proc. of the X Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics(CADSM'2009).-Lviv-Polyana,Ukraine,2009.-P.517- 518.
8. *Pavlo Denysyuk, Vasyl Teslyuk, Tariq (Moh'd Taisir) Ali AlOmari, Tatyana Teslyuk* Development and Study of Subsystem for Solution of Tasks of Multicriterial Optimization // Proc.of the Vth Inter. Conf. of Scientists (MEMSTECH'2009) - Lviv - Polyana, April, 22-24, 2009. - P.166 - 167.

Поступила 9.02.2009р.