

НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 681.2.001.2:681.2.001.8:681.2-2

МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИЛИ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

*Беспалов В.О., Гераїмчук М.Д., Нікітін О.К., Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

У статті на прикладі пружних вимірювальних перетворювачів сили розглядається методика оптимізації геометричних розмірів з використанням системи 3D-моделювання й конструювання SolidWorks у сполученні з додатком до неї COSMOS Works

Вступ. Постановка проблеми

Відомо, що виготовлення конкурентноздатної продукції, пошук ефективних конструкцій пружних вимірювальних перетворювачів, пов'язано з необхідністю проведення оптимізації та достатньо об'ємних розрахунків, це є достатньо складним процесом і вимагає використання нових інформаційних технологій. Правильний вибір програмного забезпечення дозволяє значно підвищити продуктивність роботи при конструюванні та дослідженні складних конкретних об'єктів. З цього погляду становить інтерес використання системи 3D-моделювання й конструювання Solid Works у сполученні з додатком до неї COSMOS Works при оптимізації геометричних розмірів складних пружних конструкцій методом кінцевих елементів. Можливості системи розглянемо на конкретному прикладі проектування пружних вимірювальних перетворювачів сили консольного виду (консольної балки) з поперечними отворами. 3D-модель пружного елемента, один з торців якого жорстко закріплений, а на верхню грань в області, близької до протилежного торця діє сила, спрямована вниз, що дорівнює 130Н, приведена на рис. 1. Розрахунки й оптимізація параметрів пружного елемента проводилася методом кінцевих елементів.

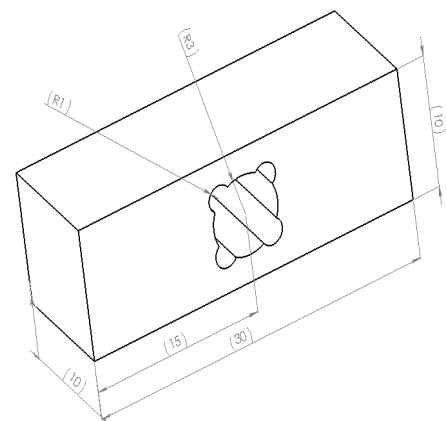


Рисунок 1 – 3D-модель чутливого елемента з отвором довільних розмірів

Попередній аналіз конструкції чутливого елемента

На попередньому етапі аналізу конструкції чутливого елемента (ЧЕ), який **не**

вимагає високої точності обчислення, припускаємо, що розміри елементів сітки (геометричні розміри кінцевих елементів) приймаються рівними розміру, заданому за замовчуванням програмно COSMOS Works. Одержану 3D модель пружного елемента в деформованому стані наведено на рис.2.

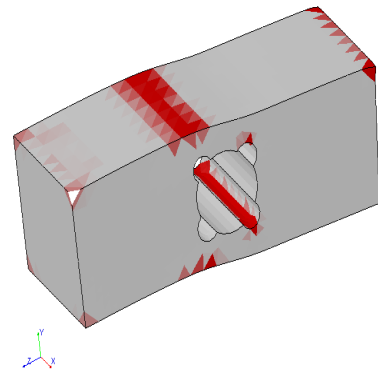


Рисунок 2 – Результати попереднього розрахунку ЧЕ

На наведеній колірній шкалі відображена відповідна відносна деформація поверхневого шару пружного елемента. З рис. 2. видно, що значення максимальної деформації відповідає верхній межі колірної шкали, і дорівнює $1,532 \cdot 10^{-4}$. Отримане значення максимальної відносної деформації майже на

порядок менше необхідного, тому потрібно провести оптимізацію конструктивних параметрів пружного елемента, тобто діаметра великої й чотирьох малих окружностей, що утворюють отвір.

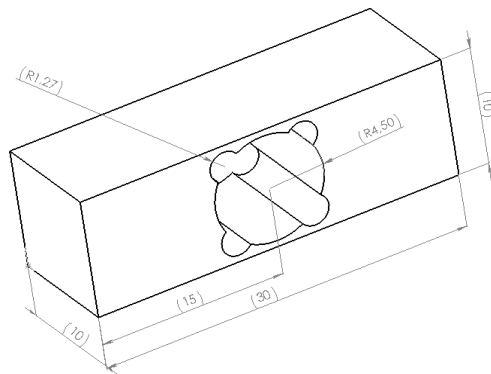


Рисунок 3 – Модель ЧЕ з оптимізованими геометричними розмірами отвору

Оптимізація геометричних параметрів чутливого елемента

Для проведення оптимізації в додатку COSMOS Works обирається режим оптимізації та вказуються:

- розміри, які потрібно оптимізувати;
- межі зміни параметрів, що характеризують деформацію.

Для оптимізації потрібно вказати як межу зміни параметрів, що характеризують деформацію, вузький інтервал, що знаходиться в області бажаного значення відносної деформації й крок його зміни, рівним 50% розміру інтервалу. В процесі оптимізації програмно змінюються геометричні розміри.

Для аналізуємої конструкції вибрані наступні параметри:

- у якості розмірів, що оптимізуються, діаметр великої й чотирьох малих окружностей, що утворюють отвір у моделі;
- межі зміни параметрів: діаметр великого отвору – від 3 до 9 мм і діаметр чотирьох малих – від 2 до 4 мм;
- мінімізацію маси моделі;
- інтервал зміни максимальної відносної деформації в межах від $0,9 \cdot 10^{-3}$

до $1,1 \cdot 10^{-3}$ із кроком зміни, рівним 50%.

На першому етапі оптимізації, програма виконує декілька кроків розрахунку (тривалість розрахунку залежить від зазначеної точності попереднього розрахунку, заданих меж інтервалів зміни параметрів моделі та потужності комп'ютера), по закінченні яких надає як результат модель з оптимізованими геометричними розмірами, що представлена на рис. 3.

На наступному етапі проводиться розрахунок моделі повторно, включаючи обчислення сітки, для перепроверки правильності оптимізації. З рис. 4 видно, що після оптимізації значення максимальної відносної деформації відповідає величині $1,148 \cdot 10^{-3}$ і максимальна деформація знаходиться на циліндричних поверхнях малого діаметра.

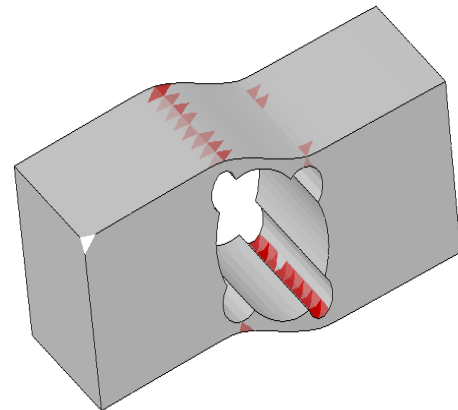


Рисунок 4 – Результати повторного розрахунку ЧЕ з оптимізованими геометричними розмірами отвору

На третьому етапі проводиться розрахунок з максимальною точністю. Перед проведенням точного розрахунку округлимо підібрані програмно розміри до наступних розмірів:

$$R_{\text{мал}} = 1,27 \text{ мм} \approx 1,3 \text{ мм} \Rightarrow D_{\text{мал}} = 2,6 \text{ мм};$$

$$R_{\text{вел}} = 4,50 \text{ мм} = 4,5 \text{ мм} \Rightarrow D_{\text{вел}} = 9 \text{ мм}.$$

Для збільшення значення максимальної відносної деформації на поверхні збільшимо діаметр малих окружностей, що беруть участь в утворенні отвору в ЧЕ, на 0,3 мм і проведемо точний розрахунок моделі з вищевказаними розмірами (рис. 5).

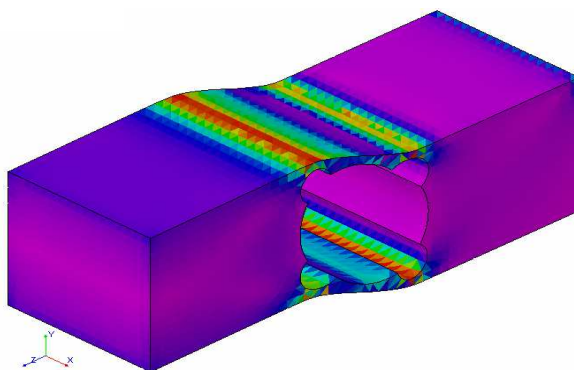


Рисунок 5 – Результати точного розрахунку з оптимізованими й округленими геометричними розмірами отвору

Аналіз результатів точного розрахунку моделі верхній поверхні ЧЕ дорівнює наближено $1,022 \cdot 10^{-3}$. Це значення деформації цілком відповідає використанню фольгових тензорезисторів.

Для визначення ділянки ЧЕ з максимальним значенням відносної деформації, на якій можна приклеювати тензорезистори, побудуємо епюри відносної

деформації. Такою ділянкою, як показав попередній аналіз є верхня поверхня ЧЕ над малими окружностями.

Для побудови епюри відносної деформації ділянки ЧЕ використовується графічний редактор с елементом управління «піпетка» (наприклад Adobe PhotoShop). Результати моделювання для аналізуемого прикладу представлені на рис. 6 і у вигляді табл.1.

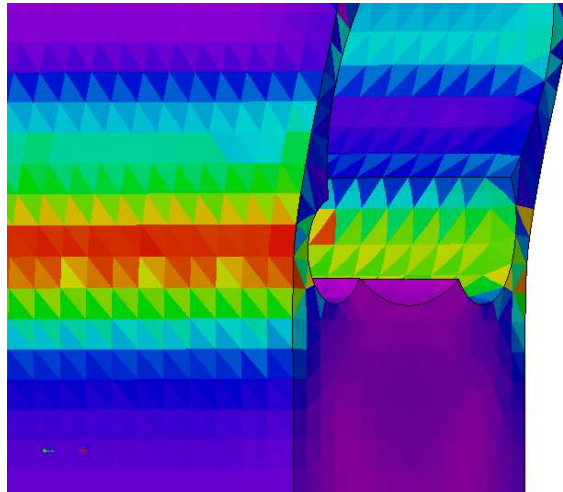


Рисунок 6 – Область ЧЕ, що призначена для наклепки тензорезисторів

Таблиця 1 – Розподіл відносної деформації

1	
2	$1,892 \cdot 10^{-4}$ $2,27 \cdot 10^{-4}$ $3,122 \cdot 10^{-4}$ $3,97 \cdot 10^{-4}$ $5,109 \cdot 10^{-4}$ $5,961 \cdot 10^{-4}$ $8,515 \cdot 10^{-4}$ $9,272 \cdot 10^{-4}$ $1,022 \cdot 10^{-3}$ $9,537 \cdot 10^{-4}$ $7,465 \cdot 10^{-4}$ $6,074 \cdot 10^{-4}$ $4,995 \cdot 10^{-4}$ $4,258 \cdot 10^{-4}$ $3,974 \cdot 10^{-4}$ $3,970 \cdot 10^{-4}$ $3,122 \cdot 10^{-4}$ $2,895 \cdot 10^{-4}$ $2,384 \cdot 10^{-4}$ $1,845 \cdot 10^{-4}$ $1,136 \cdot 10^{-4}$ $0,908 \cdot 10^{-4}$
3	8,55 мм 8,85 мм 9,15 мм 9,45 мм 9,75 мм 10,05 мм 10,35 мм 10,65 мм 10,95 мм 11,25 мм 11,55 мм 11,85 мм 12,15 мм 12,45 мм 12,75 мм 13,05 мм 13,35 мм 13,65 мм 13,95 мм 14,25 мм 14,55 мм 14,85 мм

У першому рядку табл. 1 наведене колірне відображення розподілу деформацій по довжині ЧЕ, у другому рядку – чисельне значення деформації, що відповідають кольору, у третьому рядку – відстань від площини закріплення ЧЕ до відповідної точки на поверхні елемента.

Для наглядності і більш практичного використання представимо епюру деформацій у вигляді графіка (рис. 7).

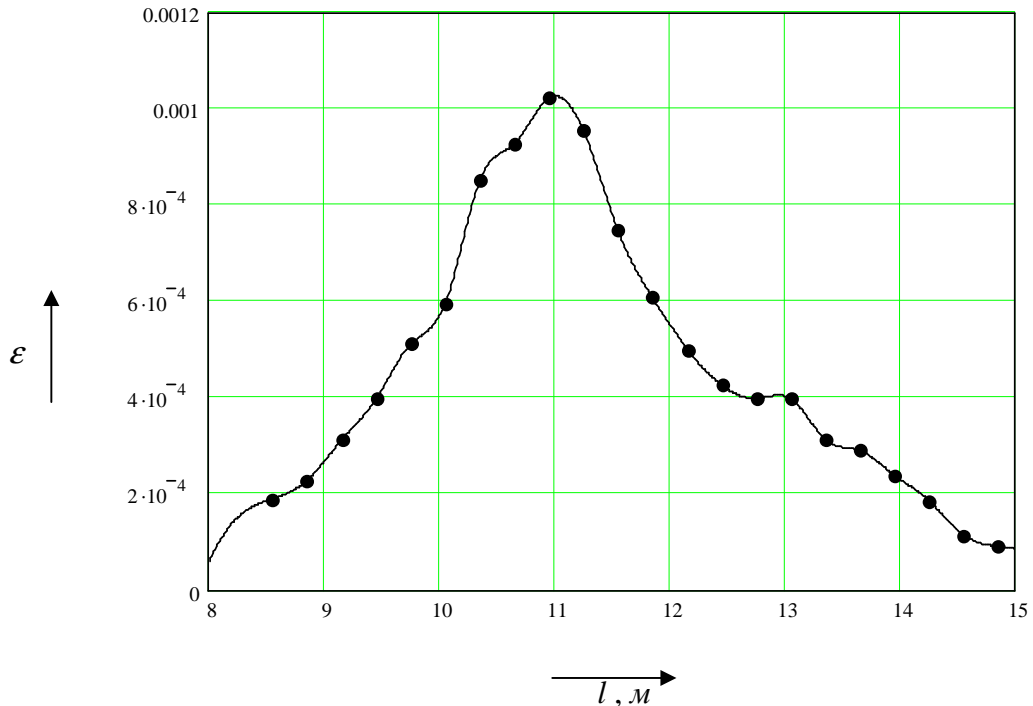


Рисунок 7 – Епюра деформацій ділянки наклейки тензорезисторів

Визначення місця наклейки тензорезисторів і середньої відносної деформації по довжині бази тензорезистора

Враховуємо, що початок бази тензорезистора повинен знаходитися на відстані в 9 мм від площини закріплення ЧЕ, позаяк довжина бази тензорезистора дорівнює 5 мм. В цьому випадку тензорезистор буде зазнавати найбільші деформації. Епюра відносних деформацій показує, що центри баз тензорезисторів повинні бути розташовані на лінії, паралельній площині закріплення ЧЕ, що лежить на верхній або на нижній поверхні ЧЕ (крім країв цієї лінії, і ближче до її центра), що перебуває на відстані 11.5 мм від площини закріплення (рис. 8). Одна пара тензорезисторів повинна знаходитися на верхній поверхні ЧЕ (тензорезистори будуть зазнавати деформацію розтягання), а друга пара – на нижній поверхні ЧЕ (тензорезистори будуть зазнавати деформацію стиснення).

Для визначення абсолютних значень максимальних відносних деформацій розтягання й деформацій стиснення, які будуть зазнавати тензорезистори обчислимо середнє значення відносної деформації по довжині бази тензорезистора (5 мм). Для визначення цього значення візьмемо інтеграл у межах (9 ... 14 мм) від сплайн-функції, отриманої шляхом інтерполяції в програмному пакеті MathSoft MathCAD, (рис. 7 – суцільна лінія), що проходить через крапки, зображені на рис. 7, і розділимо значення інтеграла на довжину інтервалу інтегрування. Внаслідок обчислень одержимо:

$$\varepsilon_{cp(F_{max})} = \frac{\int_9^{14} spl(x) dx}{14 - 9} = 5,642378 \cdot 10^{-4}$$

Тоді абсолютні значення максимальних відносних деформацій розтягання й деформацій стиснення, які будуть зазнавати тензорезистори, будуть складати $5,642378 \cdot 10^{-4}$.

Схему розташування тензорезисторів на 3D-моделі ЧЕ наведено на рис. 8.

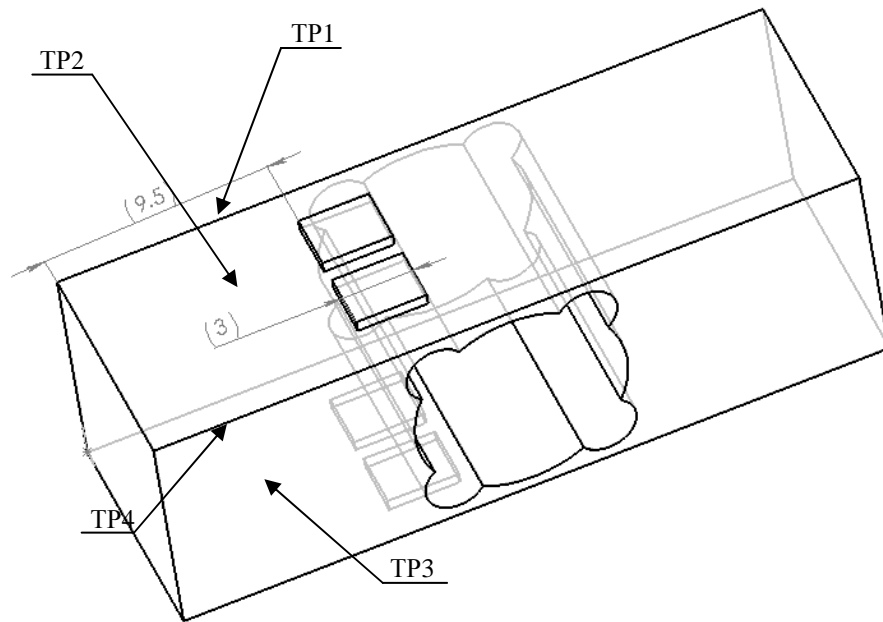


Рисунок 8 – Схема розташування тензорезисторів

Побудова статичної характеристики вимірювального перетворювача сили

Для побудови статичної характеристики вимірювального перетворювача сили – залежності максимальної відносної деформації від величини прикладеної сили, задамо зміну вхідної величини (сили) із кроком 10Н в діапазоні від 0Н до 130Н. Результати обчислень представлені у вигляді табл. 2.

Таблиця 2 – Статична характеристика вимірювального перетворювача

Сила, Н	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Максимальна відносна деформація	0	$8,467 \cdot 10^{-5}$	$1,696 \cdot 10^{-4}$	$2,545 \cdot 10^{-4}$	$3,393 \cdot 10^{-4}$	$4,241 \cdot 10^{-4}$	$5,089 \cdot 10^{-4}$	$5,933 \cdot 10^{-4}$	$6,786 \cdot 10^{-4}$	$7,634 \cdot 10^{-4}$	$8,482 \cdot 10^{-4}$	$9,331 \cdot 10^{-4}$	$1,018 \cdot 10^{-3}$	$1,102 \cdot 10^{-3}$

За даними табл. 2 побудуємо графік залежності $\epsilon_{\max}(F)$ (рис. 9).

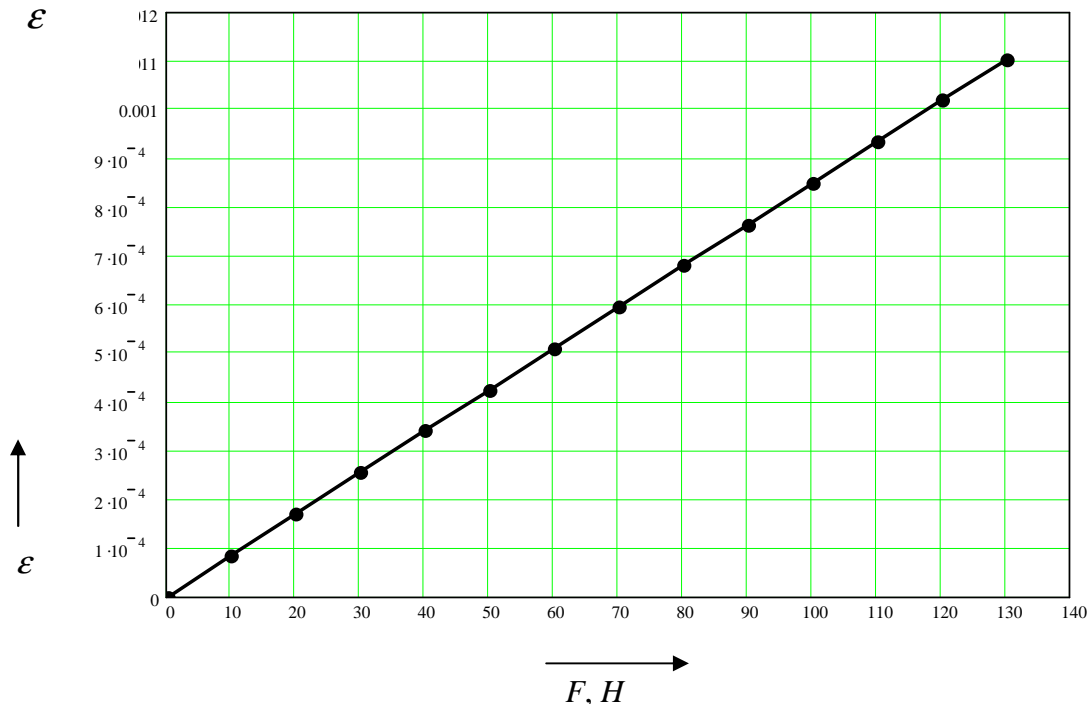


Рисунок 9 – Залежність максимальної відносної деформації від величини сили, що прикладена

Аналіз статичної характеристики (рис. 9) показує, що залежність значення відносної деформації в певній точці поверхні й прикладеною силою має лінійний характер.

Висновки

Розроблена методика розрахунку та оптимізації геометричних розмірів з використанням системи 3D-моделювання й конструювання SolidWorks у зв'язці з додатком до неї COSMOS Works, може використовуватись для подальшого дослідження різних форм чутливих елементів, виконаних з різних матеріалів і дозволяє значно прискорити процес конструювання.

<p>Беспалов В.О., Гераимчук М.Д., Никитин А.К. Методика оптимизации геометрических размеров чувствительных элементов измерительных преобразователей силы сложной формы В статье на примере измерительных упругих преобразователей силы рассмотрена методика оптимизации их геометрических размеров с помощью использования системы 3D-моделирования и конструирования SolidWorks совместно с дополнением к ней COSMOS Works.</p>	<p>Bespalov V.O., Geraimchuk M.D., Nikitin O.K. Method of optimisation the parameters devices force of the forme complexity There article we consider device end optimization to use the system Solid Works end COSMOS Works.</p>
---	--

Надійшло до редакції
27 травня 2005 року