

Лекція 8. Параметрична оптимізація конструкції верстатного затискного пристрою засобами САПР

1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Оптимізаційні алгоритми SolidWorks Simulation .

Проектування більшості верстатів виконується безпосередньо в системах автоматизованого проектування (САПР) [1, стор.33]. Використання тих чи інших типів 3D-моделювання (твердотільне, поверхневе, каркасне) являється критерієм встановлення типів скінченних елементів за замовчуванням у SolidWorks Simulation при виконанні ряду досліджень, водночас користувач може змінювати тип скінченних елементів, котрий встановлений програмою за замовчуванням.

SolidWorks Simulation для твердотільних моделей за замовчуванням визначає дискретизацію тетраедральними скінченними елементами (KE), для поверхневих - оболонковими KE, а для каркасних - стержневими KE.

Імітаційне дослідження деталей та вузлів дозволяє прогнозувати поведінку елементів досліджуваної конструкції під дією тих чи інших навантажень та умов кріплення з урахуванням контактної взаємодії та властивостей матеріалів. На сучасному рівні розвитку автоматизації проектування верстатів за допомогою САПР доцільно використовувати всі можливості потужних CAD/CAE-систем, в тому числі для динамічних розрахунків і моделювання [1, стор.34]

Тому практично всі необхідні розрахунки при моделюванні під час проектування конструкцій можна здійснити засобами САПР [1, стор.33].

Водночас слід зазначити, що МКЕ має недоліки, котрі обумовлені похибками МСЕ [2].

Оптимізаційні алгоритми SolidWorks Simulation дозволяють призначити обмеження на основі різних досліджень в межах однієї задачі. Початкові дослідження є основою сценарію процесу оптимізації або оцінки. На кожному етапі оптимізації оптимізаційний алгоритм SolidWorks Simulation виконує початкові дослідження з урахуванням змінених змінних проектування [1,2].

Графік робочого потоку оптимізаційного алгоритму SolidWorks Simulation показаний на рисунку 1.

В модулі оптимізації конструкції SolidWorks використаний метод нелінійного програмування. В загальному випадку задачею нелінійного програмування являється знаходження максимуму (мінімуму) нелінійної функції багатьох змінних коли на змінні накладаються (або не накладаються) обмеження. В стандартному вигляді задача нелінійного програмування записується в наступному вигляді [1,2]:

$$\max f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

При наступних обмеженнях:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad i = \bar{1}, \bar{m} \quad (2)$$

де $x_i, i = 1, \dots, n$ - параметри;

$g_j, j = 1, \dots, s$ - обмеження;

n - кількість параметрів;

s - кількість обмежень.

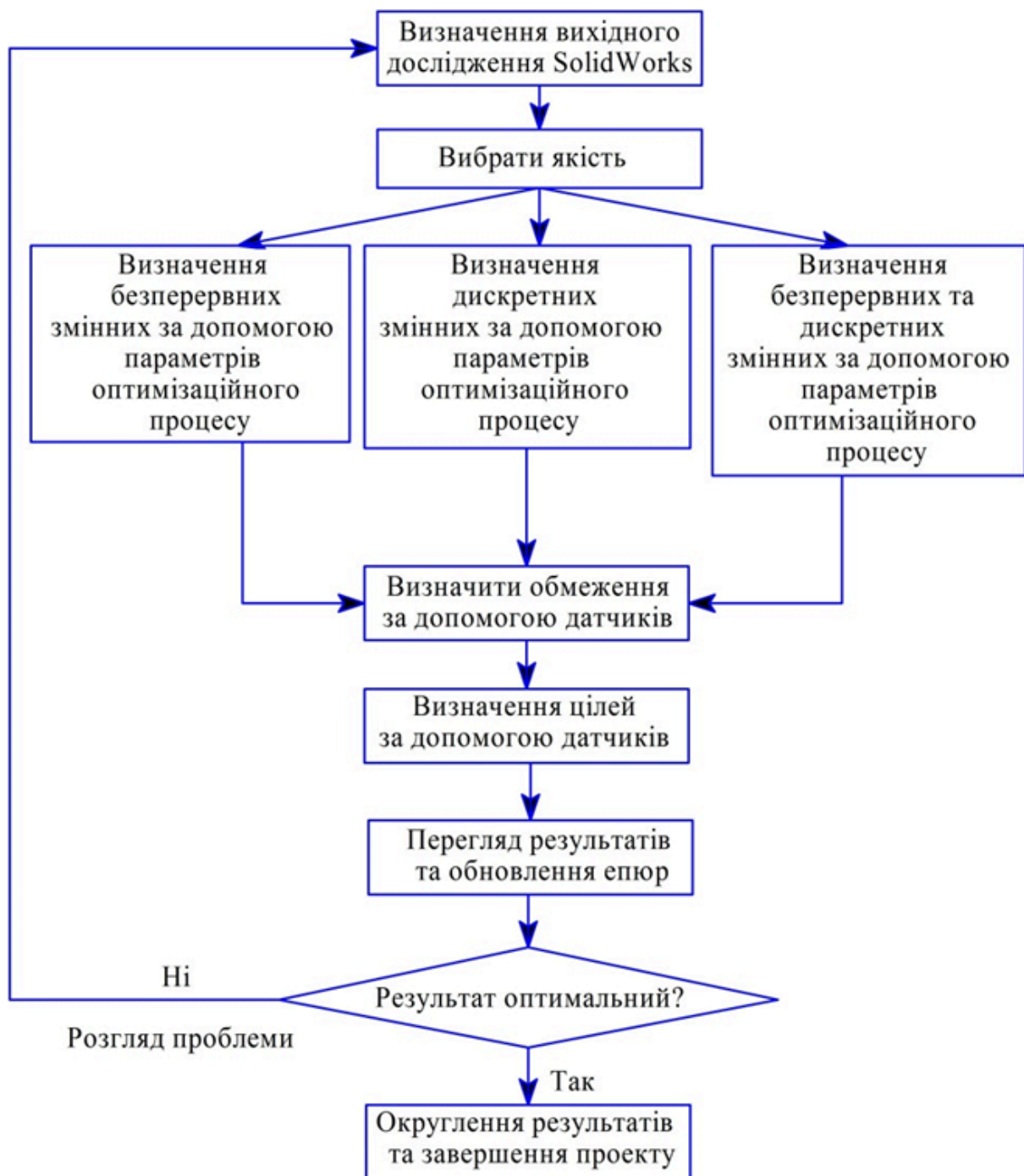


Рис.1. Графік робочого потоку [1,2].

Під оптимізацією конструкції (наприклад, елементів пристосування) в середовищі SolidWorks Simulation розуміється знаходження таких величин параметрів (змінних проектування), при яких цільова функція приймає максимальне значення. При цьому на дослідження накладаються обмеження по еквівалентних напруженнях згідно, наприклад, IV теорії міцності (von Mises), що виникають у конструкції при зміні значень

змінних проектування. В цілому ту чи іншу теорію міцності (відповідно і підходи до розрахунку еквівалентних напружень) визначає користувач самостійно, але для оптимізаційних досліджень є деякі обмеження (див. нижче). В SolidWorks Simulation доступні наступні теорії міцності ([Failure Criteria](#)):

- Maximum von Mises Stress Criterion;
- Maximum Shear Stress Criterion;
- Mohr-Coulomb Stress Criterion;
- Maximum Normal Stress Criterion;
- Maximum Stress Criterion.

Теоретичні передумови до вибору того чи іншого критерію міцності відображені [тут](#).

Варто зазначити, що в оптимізаційному дослідженні в якості обмеження можна використати будь-які складові тензорів напружень, деформацій та переміщень. Проте функціонал SolidWorks Simulation дозволяє як обмеження в оптимізаційному дослідженні застосовувати еквівалентні напруження, визначені лише за IV теорією міцності, хоча для загартованих інструментальних сталей доцільніше використовувати V теорію міцності (Mohr-Coulomb).

В межах даної теми з метою скорочення кількості обчислень допустимим в навчальних цілях є використання еквівалентних напружень по IV теорії міцності. Значення максимального еквівалентного напруження, перевищення якого приймається недопустимим, може бути одержано, наприклад, діленням межі міцності на розтяг інструментального (або іншого) матеріалу на коефіцієнт запасу міцності, прийняти, наприклад, 2,5.

В оптимізаційному дослідженні елементів верстатного пристосування змінними проектування можуть виступати конструктивні параметри вирізів (див. рис.2, позиція 1), та їх кількість, а цільовою функцією, котру потрібно максимізувати, може являтися, наприклад, жорсткість. При цьому варто зазначити, що розміри, котрі є змінними проектування, не повинні бути функцією інших розмірів, тобто потрібно використовувати тільки керуючі розміри.

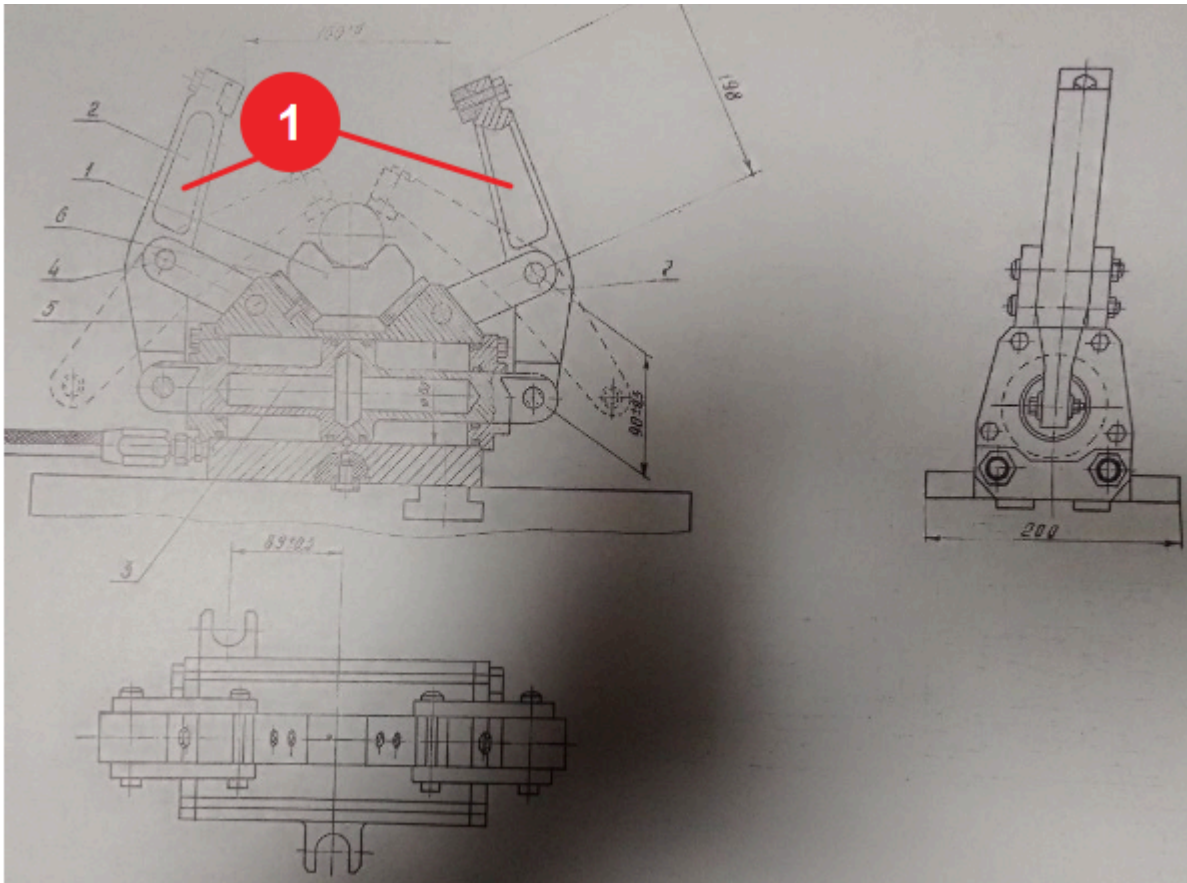


Рис.2. Затискне пристосування

Цільова функція (кількісний показник якості альтернатив вибору) даного оптимізаційного дослідження – максимізація жорсткості.

Наприклад, в роботі [3] для параметричної оптимізації дискової фрези було використано 5 обмежень, котрі базувалися на 2-х первинних дослідженнях – статичному та частотному. В якості обмеження по статичному дослідженню в роботі [3] використано датчик даних моделювання Simulation. Зокрема було встановлено обмеження на значення еквівалентних напружень. Відповідно в якості обмежень частотного дослідження в роботі [3] використано датчики даних моделювання Simulation, котрі відображають значення 2-,3-,4- та 5-ї частоти. При чому для обмеження при частотному дослідженні (датчики 2-,3-,4- та 5-ї частоти) встановлений параметр «Тільки моніторинг», тобто SolidWorks Simulation відслідковує показання датчиків без накладання обмежень.

1.2. Оптимізаційні алгоритми інших CAD/CAE систем.

Модуль Simulation, котрий являється частиною пакету Premium програмного продукту Solid Edge, дозволяє ефективно проводити оптимізацію конструкції виробів реалізуючи аналогічний оптимізаційний алгоритм до алгоритму оптимізації в програмному продукті SolidWorks.

В програмному продукті Solid Edge основними вихідними даними для оптимізації конструкції являються [5]: 1) посилання на існуючий аналіз; 2) проектні параметри; 3) проектні обмеження; 4) проектні змінні; 4) керуючі параметри.

У середовищі ANSYS Workbench починаючи з версії 7.0 присутній спеціалізований модуль оптимізації - ANSYS DesignXplorer.

ANSYS Design Xplorer на основі багатокритеріальної методики варіаційного аналізу дозволяє інженеру дослідити конструкцію на чутливість до факторів впливу, виконувати побудову поверхонь відгуку та аналізувати варіанти граничних умов і навантажень.

Найчастіше у ANSYS Design Xplorer використовується алгоритм оптимізації Design of Experiment, крім нього доступними до використання являються також алгоритми Variational Technology, Six Sigma Analysis, Monte-Carlo Analysis і NPQL.

Однією з переваг ANSYS Workbench є можливість проведення основних типів розрахунків, підтримуючи асоціативний зв'язок з геометричною моделлю в CAD-системі, а саме Pro / ENGINEER, SolidWorks і AutoCAD.

Широке використання ANSYS Design Xplorer для оптимізації конструкцій доводить ефективність використання даного програмного продукту для задач оптимізації.

MSC.NASTRAN може бути використаним для оптимізації на основі задач статички, стійкості, сталих і несталих динамічних перехідних процесів, власних частот і форм коливань, аеродинаміки та аеропружності.

2. ДЕЯКІ ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОПТИМІЗАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION

2.1. Створення первинних досліджень

В роботі [1, стор.35] відображений наступний алгоритм (у вигляді блок-схеми) виконання досліджень методом кінцевих елементів (МКЕ) у САПР (рис.3.). На основі даного алгоритму можна створити необхідні первинні дослідження.



Рис.3. Алгоритм формування досліджень методом СЕ у САПР [1]

2.2. Створення датчиків

З офіційної довідки SolidWorks відомо, що Датчики (Sensors) відстежують вибрані властивості деталей і вузлів і попереджають вас, коли значення відхиляються від заданих вами меж.

Також датчики можуть [відображати](#):

- дані моделювання, такі як напруження, зусилля з'єднання і коефіцієнти запасу міцності на окремих ділянках моделі;
- результати імітаційних досліджень перехідних процесів (нелінійні, динамічні та випробування на падіння).

З покроковим процесом створення датчиків можна ознайомитися [тут](#).

2.3. Створення оптимізаційного дослідження

Покроковий алгоритм створення нового оптимізаційного дослідження відображений у наступних інтерактивних інформаційних ресурсах:

- [Parametric Optimization - SOLIDWORKS](#)
- [How Do I Complete a Parametric Optimization in SOLIDWORKS Simulation?](#)

Інформаційні джерела

1. Чуприна, В. М. Наукові основи оцінки динамічної якості верстатів і їх вузлів при агрегатно-модульному проектуванні: дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Чуприна Володимир Михайлович. – Київ, 2017. – 466 л.

2. Карвацький, А. Я. [Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни \[Електронний ресурс\]](#) : навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування», «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та

проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів» / А. Я. Карвацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,07 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 392 с. – Назва з екрана.

3. Мельник, О. Л., Балицька, Н. О., Серов, В. В., & Соловйов, А. В. (2017). Параметрична оптимізація конструкції круглих компенсаційних отворів дискової фрези в середовищі Solidworks Simulation. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*, 1(2(80)), 49–59. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-49-59](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-49-59)

4. Design Optimization [Електронний ресурс] // Dassault Systèmes. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/bkqjma> .

5. Lombard M. Design Optimization in Solid Edge [Електронний ресурс] / Matt Lombard // Siemens. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Solid-Edge-Blog/Design-Optimization-in-Solid-Edge/ba-p/389500> .

6. Design Optimization in Solid Edge [Електронний ресурс] // Siemens. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/bhwyeb>.

7. Бажанова А. Ю. Моделі та методи аналізу пружно-дисипативних систем в САПР : дис. канд. техн. наук : 05.13.12 / Бажанова А. Ю. – Одеса, 2015. – 146 с.