

УДК 621.757

*Д.М. Проскурено, студент гр. ПБ-01мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВУЗЛІВ ВИРОБУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЕКТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В 3Д-МОДЕЛЯХ**

**Анотація.** У промисловому виробництві, як на етапі проектування, так і на етапі виробництва, управління сучасними механічними вузлами стає вимогливим через зростаючу складність. Використання концепції ідентифікації вузлів є кращою альтернативою, яка дозволяє самостійно обробляти менші групи деталей виробів, а також досягати паралельного виробництва. Тому у цій роботі розглянуто кроки, які необхідно виконати для ідентифікації вузлів приладів, такі як: аналіз 3Д-моделі, ідентифікація базових частин та саме вузлів. Також було розглянуто обмеження та проблеми в 3Д-моделях виробів, які безпосередньо впливають на ідентифікацію приладів.

**Ключові слова:** Ідентифікація вузла, САПР, 3Д-модель, стабільність вузла.

### **ВСТУП**

В останнє десятиліття автоматизована ідентифікація вузлів виробів вважається актуальною проблемою в галузі промислового виробництва і фактично є актуальною але не до кінця вивченою темою досліджень. Як на етапі проектування продукту, так і на етапі виробництва, мати справу з сучасними деталями дуже складно через їх зростаючу складність. Поширеною стратегією є введення концепції ідентифікації вузлів (Subassembly Identification), щоб уникнути роботи з усіма деталями пристрою одночасно [1,2]. Ідея полягає в тому, щоб розбити виріб на групи з'єднаних частин, які можна виготовляти незалежно одна від одної.

Концепція пропонує підтримку на етапі проектування для ідентифікації компонентів багаторазового використання [3] та пошуку застосування в різних завданнях виробництва. Методи планування послідовності складання [4] та планування послідовності розбирання використовують декомпозицію складання для обмеження комбінаторної складності проблеми. Кожен із компонентів можна виготовити окремо, а потім усі скласти, щоб отримати кінцевий продукт.

Роботи, що стосуються ідентифікації вузлів, як правило, зосереджуються на конкретній методології, що розглядається, не даючи жодного загального огляду проблеми. Оскільки не існує вичерпного і загальноприйнятого визначення підгрупи для ідентифікації вузлів, то необхідно дослідити проблему, вказавши на визначення ключових понять, основні припущення, які необхідно зробити, та методи, які використовуються для ідентифікації.

### **КРОКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВУЗЛІВ**

Ідентифікація вузлів є темою дослідження, яка вивчається з 90-х років. У цій області точне визначення підгрупи було дано Діні та Санточчі [5]. Вони заявили, що вузол - це група з'єднаних частин, вона стабільна, бо якщо нею маніпулюють, внутрішні частини повинні зберігати свої взаємні положення, і вона не може заважати частинам іншого вузла в процесі складання. Однак інструменти та методології, прийняті в цих перших роботах, дуже грубі, і, перш за все, необхідне масштабне втручання людини як у вилучення даних моделі САПР, так і в оцінку досягнутих результатів. Як наслідок, в останнє десятиліття було розпочато ідентифікацію вузлів з основною метою автоматизації процесу.

У багатьох роботах вузол тепер визначається, менш обмежено, як «загальна підмножина частин виробу», яка задовольняє обмеження. Поняття стабільності вводиться як додатковий атрибут вузлів, й як дискримінантний фактор для виявлення вузлів. У [6] складальна одиниця (вузол) є стабільною, якщо частини не можна легко видалити окремо, але загальний набір можна видалити разом. Донг та ін. [7], натомість, визначають стабільність за допомогою індексу, розрахованого на основі того, як деталі відхиляються від правильного положення під час видалення з'єднувачів.

Існує багато критеріїв, на яких базуються методи ідентифікації стабільних вузлів. Однак більшість методів спираються на підхід, який буде узагальнено в наступних кроках. Тоді кожен метод має свої специфічні особливості та новаторський вибір.

Перший крок – аналіз моделі САПР. Відправною точкою є аналіз моделі САПР приладу: отримання топологічної та геометричної інформації. Мета полягає в тому, щоб визначити контакти та обмеження деталей, а також можливі напрямки для переміщення деталей. Ці дані зберігаються або в матрицях, або в графіках. Найчастіше використовуються матриці трьох типів: матриця суміжності, де кожен елемент представляє наявність контакту між двома частинами, матриця обмежень, де елементи можуть бути 3-цифровими або 6-цифровими масивами, що представляють обмеження між двома частинами вздовж напрямків  $d \in (\pm x, \pm y, \pm z)$  та матриці стійкості, де елемент представляє стійкість або тип кріплення між будь-якою парою компонентів. Натомість при використанні графіків кожна частина приладу є вузлом графіка, а інформація, отримана з моделі САПР, включається в ребра та в їх атрибути. Стандартні графіки, що використовуються, — це графік зв'язку, еквівалент матриці суміжності, для контактної інформації між будь-якою парою частин, і графік блокування, еквівалент матриці обмежень, що надає інформацію про блокувальні зв'язки всередині компонента для даного напрямку (в основному осі  $x, y, z$ ) складання. Ці графіки можна покращити, наприклад, зробити їх зваженими. У найпростішому випадку значення ребер задаються типом контакту і представляють ті самі дані, виражені матрицею стабільності. У більш спеціалізованих випадках значення ребер розраховуються на основі оцінки різних факторів, таких як комбінація функціональних, структурних та технологічних обмежень.

Другий крок – ідентифікація базових частин. З метою виявлення вузлів вводиться поняття базових деталей. Базові деталі — це  $m$  компонентів складальної одиниці, починаючи з яких створюються вузли. Число  $m$  завжди встановлюється заздалегідь, і це може бути обмеженням. Вибір базових деталей може відбуватися різними способами, або вручну, або автоматично відповідно до різних критеріїв. Пошук базових частин виконується за матрицями та/або графіками, отриманими в результаті обробки моделі САПР. Загалом базові частини можуть відповідати компонентам, що мають найвищий ступінь з'єднання, хоча для правильної класифікації критерію контакту недостатньо. Як наслідок, вводиться максимізація цільової функції: вона передбачає оцінку

деяких евристичних показників, таких як кількість контактів, об'єм, розміри та граничні поверхні [2].

Третій крок – ідентифікація вузлів. Після того, як базові деталі визначені, слід генерувати вузли. Існують два різних способи зв'язування деталей із базовими компонентами. Деякі роботи надають алгоритми ітеративної оптимізації для розділення приладу. У цьому випадку визначені деякі значення пристосованості, і функція пристосованості повинна бути мінімізована. На кожній ітерації центр і члени кластерів оновлюються, поки не буде досягнуто певного порогу. В інших роботах пропонується генерувати підгрупи деталей, видаляючи зв'язки між усіма основними частинами[2]. Якщо будь-яка з цих підгруп містить лише одну базову частину, то вона сама вважається підгрупою. І навпаки, якщо підгрупа включає дві або більше базових частин, вона повинна бути розділена на стільки підгруп, скільки базових частин. Щоб визначити належність частини до групи базової частини, виконуються деякі оцінки з аналізом раніше описаних матриць/графів.

## **ОБМЕЖЕННЯ ТА ПРОБЛЕМИ**

Майже всі роботи в літературі дають опис запропонованого конкретного підходу та оцінюють ефективність методу на безпомилкових моделях САПР простих вузлів з обмеженою кількістю деталей або з використанням людського втручання для надання необхідної інформації. Більше того, багато елементів ігноруються, такі як наявність сили тяжіння, можливе існування деталей, що деформуються, а також кілька режимів складання, як-от кріплення, зварювання, склеювання, постійна деформація та прилягання, деякі з яких є навіть незворотними обмеженнями. Натомість інша інформація сприймається як належне, наприклад, знання стандартних компонентів (кріпильних елементів і з'єднувачів).

Однак, щоб забезпечити надійні та ефективні інструменти для промислового застосування, слід враховувати експерименти на реальних моделях продуктів. Дійсно, робота з моделями САПР реальних вузлів, що надаються галузями, дуже вимоглива, і виникає багато проблем, якими, натомість, зазвичай нехтують. Загалом, фактично, згадуються лише деякі обмеження представлених методів. Серед них єдина можливість переміщення частин уздовж осей  $x$ ,  $y$  і  $z$ , надмірне людське втручання та висока обчислювальна вартість.

Під час роботи з промисловими моделями САПР виникає кілька проблем з автоматизованим вилученням необхідної інформації для застосування алгоритмів виявлення складальних одиниць. Перш за все, у моделях САПР часто відсутні частини або деталі, представлені в спрощеному вигляді. Це може стосуватися різних ситуацій. З одного боку, проектувальник може опустити незначні деталі з метою зробити модель САПР компактнішою та легшою. З іншого боку, загальноприйнятою практикою є фізично не включення з'єднань та кріплень, оскільки вони є стандартними компонентами. Таким чином, їх наявність можна визначити за деякими специфічними ознаками: наприклад, гвинти можна визначити за різьбовими отворами між двома різними частинами.

Крім того, деякі компоненти можуть бути неправильно розміщені або погано змодельовані, створюючи перешкоди або, навпаки, є порожні місця між деталями. Ці помилкові ознаки, безумовно, викликають оманливу інтерпретацію або відсутність контактів.

Як наслідок, необхідно припустити деякі гіпотези, і необхідна фаза попередньої обробки, щоб зробити модель придатною для ідентифікації вузлів. Детальний аналіз моделі САПР, насправді, є вирішальним для результатів методів ідентифікації, і всі ці аспекти, які дуже важко розглянути, які зазвичай не помічаються, повинні бути прийняті до уваги.

## **ВИСНОВКИ**

Автоматизована ідентифікація вузлів є актуальною для промислового виробництва, де проводять дослідження. Однак багато робіт обмежені тим фактом, що вони фактично розглядають лише деякі ситуації, що зустрічаються в реальній інженерії. Дана стаття презентує кроки для реалізації автоматизації ідентифікації вузлів а також спрямована на аналіз проблеми у всіх її аспектах. За допомогою промислових моделей САПР можна виділити проблеми, які зазвичай не помічаються, особливо ті, що виникають у результаті застосування до ідентифікації до реальних продуктів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Lupinetti, K.; Pernot, J-P.; Monti, M.; Giannini, F.: Content-based CAD assembly model retrieval: Survey and future challenges, Computer Aided Design, 113, 2019, 62-81.
- [2] Belhadj, I.; Trigui, M.; Benamara, A.: Subassembly generation algorithm from a CAD model, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87(9-12), 2016, 2829-2840.
- [3] Філіппова М. В., Вислоух С. П. Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування // Вісник / НТУУ «КПІ» Серія «Машинобудування. Київ, 2006. С. 111-117.
- [4] Wang, Y.; Liu, J.H.; Li, L.S.: Assembly sequences merging based on assembly unit partitioning, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 45(7-8), 2009, 808-820.
- [5] Dini, G.; Santochi, M.: Automated sequencing and subassembly detection in assembly planning, CIRP annals, 41(1), 1992, 1-4.
- [6] Agrawal, D.; Kumara, S.; Finke, D.: Automated Assembly Sequence Planning and Subassembly Detection, IIE Annual Conference, Proceedings, Institute of Industrial and Systems Engineers (IIE), 2014, 781-788.
- [7] Dong, T.; Tong, R.; Zhang, L.; Dong, J.: A knowledge-based approach to assembly sequence planning, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32(11-12), 2007, 1232-1244.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Філіппова М. В.*