

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МОДУЛЬНОГО ПРОЦЕСУ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ГНУЧКОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ****Григор'єва Н.С.** (ЛНТУ, м. Луцьк, Україна)Факс: +38 (033) 77-48-40; E-mail Vik.Shaba@gmail.com

Анотація. Розглядаються на ієрархічних рівнях із застосуванням теорії графів питання розробки технологічних модульних процесів. Спочатку на першому рівні формуються технологічні та конструкційні складальні модулі, на решта – модульний технологічний процес складання. Модель технологічного модульного процесу представляє собою множину елементарних модулів складання, підмножини комплексних модулів складання та різних раціональних варіантів технологічних модульних процесів, які встановлюються після визначення найкоротшого шляху в відповідних графах, які їх описують. Оптимальний варіант модульного складального процесу визначається за комплексними критеріями модульного виробничого складального обладнання та оснащення.

Ключові слова: складання, технологічний модульний процес, технологічний модуль, модель, орієнтований граф, найкоротший шлях Гамільтона.

1. Вступ.

Модульний технологічний гнучкий процес складання має відмітні риси від традиційного автоматизованого, які забезпечують його гнучкість, що як відомо, забезпечується різним переналагодженням функціональних елементів модулів. Так наприклад, для визначення займаного положення та приведення в потрібне різнотипних деталей можуть використовуватися універсальні модулі, які автоматично чи вручну переналагоджуються на окремі деталі. Це стосується і до виконання таких функціональних елементів, як транспортування деталей, їх подача на складальні позиції, контроль. Особливої уваги вимагає переналагодження чисто складальних елементів, таких як взаємне орієнтування, спряження та фіксація деталей. Множина можливих технологічних рішень пов'язана з різноманітністю використовуваних з'єднань, які досягаються геометричним замиканням, деформуванням, взаємодією полів, або молекулярною взаємодією, а також за рахунок термічного впливу, випромінювання, тощо. Кожне з вказаного типу з'єднань для його реалізації вимагає свого специфічного переналагодження в ширшому чи вужчому діапазоні. Завдання значно спростилося би при переході на модульні конструкції виробів і уніфікацію застосовуваних складальних з'єднань.

2. Постановка проблеми

Модульне автоматизоване складальне виробництво становить новий напрямок в технології машинобудування. Підвищення його ефективності є важливою народногосподарською проблемою. Таке виробництво найбільш повно відповідає швидкій зміні номенклатури виробів. Модульному складальному виробництву приділялось недостатньо уваги, хоча саме там формуються показники якості виробів. Тому розробка технологічних модульних процесів є актуальним і важливим завданням.

3. Аналіз останніх досягнень і публікацій

Відомі роботи [1,2,3], в яких розглядаються питання моделювання окремих елементів складального процесу: визначення положення деталей та вузлів, їх транспортування, особливо багато по автоматичному просторовому та взаємному орієнтуванню, безпосередньо автоматичного складання, контролю та діагностиці. Всі вони можуть бути використаними при дослідженнях модульного автоматизованого гнучкого скла-

дання виробів, але з відповідним доопрацюванням щодо реалізації принципу модульності. Головним питанням при цьому будуть особливості формування складальних модулів. При їх формуванні враховуються основні положення технологічного проектування автоматизованих складальних робіт [4], таких як технологічне членування складальних робіт, вибір схеми базування, визначення послідовності складального процесу, а також встановлення складу засобів технологічного оснащення.

4. Мета статті

Метою статті є розробка ітераційно-рекурентної методики проектування модульних технологічних складальних процесів в частині їх моделювання.

5. Представлення основного матеріалу

Технологічний модуль складається з ряду елементів, подібно, як і при технологічній операції, але вони якісно відрізняються від відомих за рахунок застосування принципу модульності. Блок-схема алгоритму формування технологічних модулів (рис. 1) передбачає введення необхідних даних, при цьому, такі дані повинні бути формалізованими, тобто передбачається використання банку таких даних, які поки що відсутні, а відомі розробки фрагментні. На цій підставі виконується аналіз конструкції з точки зору модульності складання. Якщо конструкція попередньо модульна, то аналіз зводиться до перевірки правильності їх встановлення. Виявляються необхідні складальні рухи, дії

та їх послідовність виконання й можливого поєднання. В наступному проводиться їх синтез, на меті якого є виявлення конкурентоспроможних варіантів з усуненням мало реальних. На цій підставі формуються елементарні технологічні модулі, а при необхідності їх комплекти і комплекси.

Оскільки технологічні модулі формуються одночасно з конструкційними, то між ними є взаємозв'язок. Якщо під технологічним модулем розуміється деяка сукупність модульних переходів, то під конструкційним – їх конструкційна реалізація на технологічному обладнанні чи оснащенні. Для модульного складання виробу на підставі його конструкції (первинна інформація) та технологічних особливостей складання формуються модульні технологічні переходи, які постійно коректуються за конструкційними модулями технологічного обладнання та оснащення. При будь-якій невідповідності з обох боків такі складальні модулі доопрацьовуються і отримуються уточнені технологічні та конструкційні модулі.

У відповідності з наведеним, можна виділити основні елементи аналізу та синтезу технологічних модульних процесів (рис.2). Розроблена модель гнучкого модульного складання виробів, представлена графами і матрицями, включає 9 етапів. На етапі 1 аналізується типовий виріб і проводиться відпрацювання технологічності конструкції, етапі 2 – виявляється множина можливих порядків модульного складання з врахуванням особливостей конструкції. Функція розробки виражається як $D_T \rightarrow \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$,

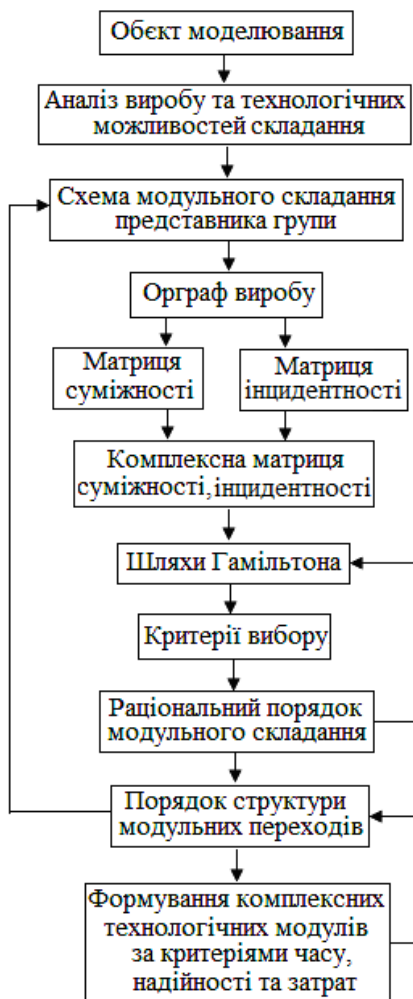


Рис. 1. Блок-схема формування технологічних модулів

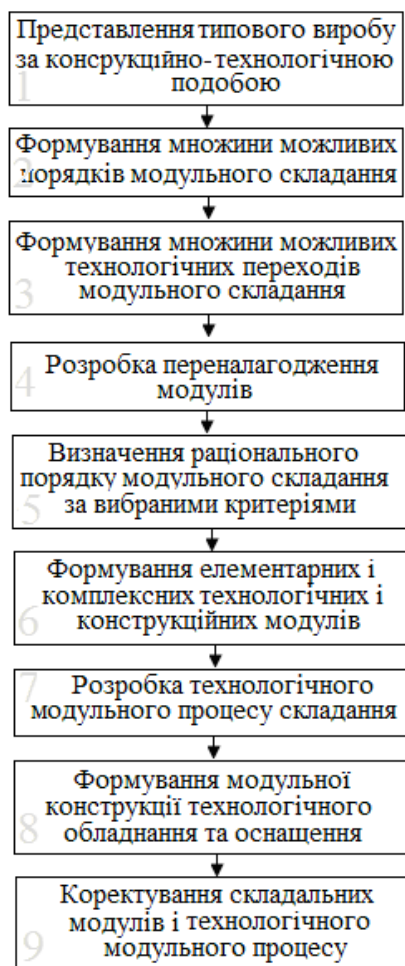


Рис. 2. Основні елементи аналізу та синтезу технологічних модульних процесів складання

оснащення підбором необхідних конструкційних модулів. Після встановлення параметрів і характеристик модульне обладнання та оснащення на етапі 9 кінцево коректуються як технологічний модульний процес складання, так і окремі технологічні та конструкційні модулі.

Методика синтезу раціональних порядків структури складальних модулів. Визначення структури складальних модулів є одним з найбільш складних завдань модульного автоматизованого складання. Полягає вона в визначенні множини можливих порядків структур, відбору конкурентоспроможних варіантів і встановленні оптимального за потрібним критерієм. Кожний порядок визначається як конструкцією складаного вузла, так і особливостями модульної складальної технології. Для вирішення завдання використовується математична графова модель, яка описується матрицями як для початкового опису модульного складального процесу, так і наступного аналізу та синтезу.

Допускаючи, що будь-яка конструкція виробу може бути представлена кінцевим графом, в якому вершини відповідають окремим деталям, що утворюють конструкцію виробу, а дуги – взаємозв'язку між ними, модульний складальний процес на будь-якому рівні можна описати матрицями суміжності та інцидентності [5]

де D_T – множина деталей d_i типового виробу, що виконується за правилами з'єднання деталей і обмеженнями автоматичного складання, з яких по графових моделях і матрицях суміжності та інцидентності встановлюється їх раціональна послідовність. На етапі встановлюється базова деталь і на основі аналізу положень деталей послідовність складання з встановлення часу складання. На етапі 3 на базі синтезу послідовності складання, умов і обмежень виконується формування множини технологічних переходів модульного складання. Функція розробки: $P_M \rightarrow \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, де P_M – множина модульних переходів p_i . На етапі 4 проводиться аналіз застосування інноваційних способів переналадження з наступним синтезом раціональних схем. Раціональний порядок модульного складання визначається на етапі 5. Функція розробки: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$, $P_M^* \rightarrow \{p_1^*, p_2^*, \dots, p_k^*\}$, де P_M^* – множина раціональних порядків модульних переходів, T – оперативний час.

На етапі 6 виконується формування елементарних і комплексних технологічних і конструкційних модулів за критеріями продуктивності та надійності. Функція формування: $M_T \rightarrow \{m_1, m_2, \dots, m_f\}$, $M_K \rightarrow \{k_1, k_2, \dots, k_f\}$. Модулі m_i і k_i мають задану продуктивність і надійність гнучкого складання. На етапі 7 проводиться розробка технологічного модульного процесу складання на виріб шляхом компонування та стикування послідовності необхідних технологічних і конструкційних модулів, які забезпечують якість модульного складання. Функція розробки: $TM_P \rightarrow \{TM_1, TM_2, \dots, TM_c\}$. На етапі 8 формується потрібне технологічне модульне обладнання та

$$C_M = \begin{array}{c} \text{Деталі} \\ \left| \begin{array}{cc} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{n1} & a_{n2} \end{array} \right| \begin{array}{c} a_{1n} \\ a_{2n} \\ a_{nn} \end{array} \left| \begin{array}{c} \text{Деталі} \end{array} \right. \end{array} \quad (1) \quad I_M = \begin{array}{c} \text{Час складання} \\ \left| \begin{array}{cc} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \\ t_{m1} & t_{m2} \end{array} \right| \begin{array}{c} t_{1,n-1} \\ t_{2,n-1} \\ t_{m,m-1} \end{array} \left| \begin{array}{c} \text{Деталі} \end{array} \right. \end{array} \quad (2)$$

де a_{ij} - деталі конструкції виробу; n - їх кількість; t_{ij} - час складання суміжних деталей.

У першому випадку вершини такого графа будуть суміжними, якщо вони є граничними деталями ребра. Відношення суміжності на вершинах графа визначається представленням кожного ребра, як пари суміжних деталей. При опису конструкцій виробів можливе використання петель, якими можна описувати зміну властивостей деталі, вузла чи додаткові впливи під час модульного складання. Елементи матриці при наявності зв'язку між суміжними деталями позначаються «1», в протилежному випадку – «0». В такій матриці всі елементи головної діагоналі нульові, за винятком використання петель, а сама матриця є квадратною. З метою більш глибокого аналізу модульного складання дугам можна задавати вагу, тобто описати різновид спряження деталей з точки зору конструкційної чи технологічної складності.

Структура технологічних модулів за його елементами передбачає на початку представлення скінчених множин модульних позицій з установами, на яких виконується деяка множина складальних переходів з множиною ходів, які утворюються за рахунок множини складальних рухів і дій. З метою спрощення в оргграфі, який описує процес, закладається відома послідовність порядку їх виконання, а множини елементів обмежені вимогами щодо структури модулів з творенням конкурентоспроможних варіантів. Такий оргграф можна описати матрицею

$$TM_{ct} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ b_{11} & b_{12} & \cdot & \cdot & b_{1m} \\ c_{11} & c_{12} & \cdot & \cdot & c_{1k} \\ d_{11} & d_{12} & \cdot & \cdot & d_{1l} \\ e_{11} & e_{12} & \cdot & \cdot & e_{1p} \\ s_{11} & s_{12} & \cdot & \cdot & s_{1v} \end{array} \right|, \end{array} \quad (3)$$

де a, b, c, d, e, s – відповідно, множини модульних складальних позицій, установів, переходів, ходів, рухів і дій; n, m, k, l, p, v – їх кількість. В такому представленні порівняльно просто знайти оптимальний шлях в оргграфі (шлях *Гамільтона*) за вибраними критеріями, наприклад, продуктивністю, собівартістю чи надійністю.

Матрицю інцидентності, в якій вершина a_{ij} інцидентна ребру t_{ij} , а ребро інцидентне вершині, зручно використати для опису різних показників модульного процесу, наприклад, часу складання чи його надійності. На відміну від матриці суміжності матриця інцидентності показує відношення між різнорідними об'єктами, наприклад, деталями і часом їх модульного складання. При цьому розрізняється додатна та від'ємна інцидентність, в залежності від напрямку дуги до вершини або від вершини. При аналізі інцидентності деталей конструкції виробу та часу їх складання рядки відповідають деталям, а стовпці – часу складання. Кожний елемент ij описується одиницею, якщо деталь інцидентна часу j , в протилежному випадку – нулем. При цьому кожний стовбець містить два одиничні елементи, кількість одиниць в рядку відповідає степені відповідності деталі, а нульовий рядок – ізольованій деталі, нульовий стовбець – петлі.

Множина деталей конструкції виробу представляється як перелік всіх його елементів $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, а їх поєднання, як $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. При цьому, якщо якась підмножина виділяється з множини A за допомогою вибраної властивості, наприклад, форми, точності і т.п., тобто $P(x)$, що записується, як $\{x \in A | P(x)\}$, а запис $\{f(x) | P(x)\}$ відповідає множині $y = f(x)$, для яких x має властивість $P(x)$. При операціях над множинами об'єктів модульного складання можна використовувати їх об'єднання ($\cup$), пересічення ($\cap$), різницю ($\setminus$), диз'юнктивну суму ($\oplus$) і інші. При цьому, відношення між парами об'єктів вважаються бінарними з відповідним йому співвідношенням. Відношення обмеження переміщення при модульному складанні можна записати як $P \subseteq A \times A$, де $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ і представити матрицями $M(P)$, в яких i -ий рядок відповідає a_i -ій деталі, а j -ий стовбець a_j деталі, а пересічному елементу $m_{ij} \in M(P)$ можна надавати різну вагу в залежності від конструкційно-технологічних особливостей. Має також враховуватися напрямок складання відносно координатних осей, але зі збереженням лише двох напрямків складання (третій напрямок замінюється двома). Початкова інформація модульного складання представлена в матрицях, обробляється комп'ютерно на окремих етапах з метою одержання множини порядків складання.

Методика синтезу раціональних порядків структури модулів побудована на допущеннях, характерних для автоматизованого складання. Правильність модульного складання перевіряється можливістю розкладання деталей через відміну відношення обмеженості їх рухомості, що змінює значення пересічних елементів m . Напрямок розкладання вздовж осі визначається знаком матриці. Базовою деталлю вважається така, яка має найбільше контактів зі складаними деталями і яка усувається останньою при розкладанні. При цьому приймаються до уваги напрямки складання. Кількість деталей, що приєднуються до базової, обмежується як вимогами модульного складання, так і іншими. Початковий варіант для модульного складання отримується інвертуванням теоретичної послідовності, тобто заміною в матриці знаків, які вказують на протилежний напрямок складання. Схема формування технологічних модулів і модульного процесу наведена на рис. 3.

6. Висновок

Методологічна концепція розробки технологічних модулів і модульного процесу складання полягає в встановленні найкоротшого шляху Гамільтона в графах, які описують такі процеси і формуванні всіх елементів модульного складального процесу

$$G(x_i, x_j) = \{x_i, \dots, g_{i1}, x_{i1}, \dots, g_{ij}, x_j, x_j\}, \quad (4)$$

де x_i, x_j, g_{ij} - вершини і дуги графа. Пошук такого шляху має ряд теоретичних і практичних труднощів, а також допущень і умов. Питання спрощується, коли вже встановлена

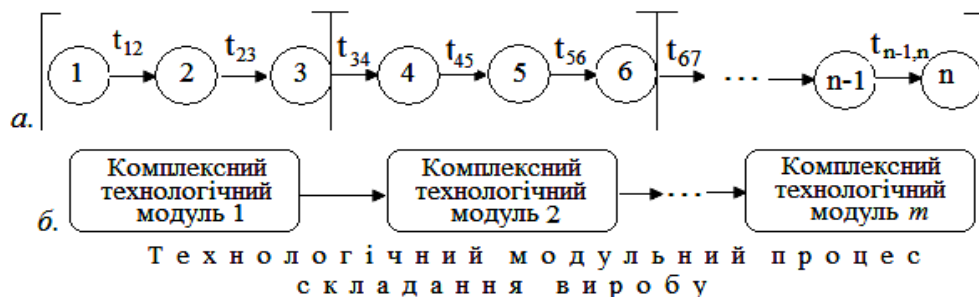


Рис. 3. Схема формування технологічних модулів і модульного процесу: ланцюжок елементарних (а) і комплексних модулів (б)

базова деталь. Очевидно, що визначення такого шляху тісно пов'язане з прийнятим критерієм. У більшості випадків одного критерію недостатньо, оскільки може виявитися кілька шляхів однакової вартості. В зв'язку з тим впроваджуються додаткові критерії, котрі дозволяють встановити раціональний або навіть оптимальний шлях. Тому при наявності декількох рішень їх оптимізацію слід проводити після детального встановлення технологічних засобів і організації процесу модульного складання. Додатковими критеріями можуть бути конструкційні, технологічні, економічні, показники якості, тощо. Перспективами дальшого розвитку даного напрямку є розробка ітераційно-рекурентних методик проектування модульних технологічних складальних процесів і переналагоджуваного модульного обладнання з оснащенням.

Список літератури: 1. Машиностроение. Энциклопедия. Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / Под общ. ред. Ю.М. Соломинцева. - М.: Машиностроение, 2001. – 640 с. ISBN 5-217-01959-X. 2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1968. – 355 с. 3. Химмельблау. Прикладное нелинейное моделирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с. 4. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів. Монографія. – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с. ISBN 978-966-517-618-3 5. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1987. – 493 с.

Надійшла до редколегії 13.05.2010 р.

DESIGN OF TECHNOLOGICAL MODULAR PROCESS AUTOMATED FLEXIBLE ASSEMBLAGE OF ARTICLES

Grigorieva N.S. (LNTU, Lutsk, Ukraine)

The questions of design technological modular processes are considered on hierarchical levels with the use of theory the graphs. Foremost a first level the technological and construction assembly modules are formed, on other - are module assembly processes. The model of technological modular process represent the complex of multitudes the elementary assembly modules, subset of the complex assembly modules, variety of rational variants of technological module processes, which are determined after adjectives shortest path in the appropriate graphs which describe them. The optimum variant of process is determined on the basis of the accepted criteria of module manufacturing equipment and accessory.

Key words: *assemblage, technological modular process, technological module, model, directed graph, shortest path.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЬНОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГИБКОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

Григорьева Н.С. (ЛНТУ, г. Луцк, Украина)

Рассматриваются вопросы разработки технологических модульных процессов на иерархических уровнях с применением теории графов. На первом уровне формируются технологические и конструкторские сборочные модули, на остальных – модульные сборочные процессы. Модель технологического модульного процесса представляют множество элементарных сборочных модулей, подмножества комплексных модулей сборки, разнообразия рациональных вариантов технологических модульных процессов, которые формируются после определения кратчайшего пути в соответствующих графах, которые их описывают. Оптимальный вариант модульного сборочного процесса определяется по комплексным критериям модульного производственного оборудования и оснащения.

Ключевые слова: *сборка, технологический модульный процесс, технологический модуль, модель, граф, кратчайший путь Гамильтона в графе.*