

## РАЦІОНАЛЬНА КОМПОНОВКА МОДУЛЬНИХ СКЛАДАЛЬНИХ АВТОМАТІВ

*Представлена методика вибору оптимальної компоновки і конструкції модульних складальних автоматів, відпрацьованих на технологічність конструкцій деталей та складальних вузлів, з використанням формалізованих складальних даних і конструкційно-технологічних обмежень. Основою методики є створення моделі ідеального рішення, уточнення технологічних і формування конструкційних модулів, встановлення технологічної та конструкційної компоновки, їх оптимізація.*

*Вступ.* Встановлення оптимальної компоновки складальних автоматів, особливо переналаджуваних, вважається однією з найскладніших задач проектування. Узasadнюється це тим, що для встановлення такої компоновки приходиться розраховувати і аналізувати цілі множини технічних і економічних показників, ряд з них є похідними і появляються вже в процесі розрахунків. Головним при цьому, очевидно, є забезпечення високої якості складаного виробу, стабільність та надійність роботи автомату при мінімальних витратах і високій продуктивності. Оскільки така задача багатоваріантна та не завжди правильно використовуються методи синтезу, то структурні схеми і компоновки таких автоматів навіть при високій кваліфікації проектувальників не забезпечують оптимального рішення.

В даний час спостерігається ріст використання інформаційних технологій, які забезпечують високий рівень якості виробів. Парадигми майбутнього складального виробництва передбачають застосування *CALS*-технологій, які використовують автоматичне проектування технологій та конструкцій. Ці технології забезпечують повний цикл створення виробу від віртуального проектування, до аналізу, синтезу, оптимізації та розробки технологічних процесів складання і обладнання, що реалізує кризне проектування та автоматичне складання. Їх впровадження в складальне виробництво скорочує час проектування в десятки разів при забезпеченні високого рівня якості.

*Огляд основних публікацій.* Відомі багаточисельні публікації, присвячені вибору оптимальних компоновок конструкційних рішень складальних автоматів різного призначення. Відомий метод направленого пошуку структурно-компонувальних схем агрегатного обладнання [1] дозволяє при мінімальній кількості вхідних даних встановити варіант з найкращими, але не оптимальними технічно-економічними показниками. Метод використовує математичне дискретне програмування та покровий метод оптимізації. В загальних принципах компоновання та проектування конструкцій машин приведені їх особливості, запропоновано на останньому етапі схематичного розгляду технічної системи використовувати принципіально-структурні моделі, для котрих проводиться їх аналіз і синтез [2]. Процес вибору структурно-компонувального варіанту включає такі етапи: формування вхідних даних, генерування можливих варіантів, порівняльний їх аналіз і встановлення альтернативних, вибір кращого варіанту та детальна його конструкційна проробка. З'єднання деталей і складальних одиниць здійснюється через складальні модулі [3], котрі представляють собою суміщену пару базувальних поверхонь З'єднання деталей розглядається як поєднання комплекту основних баз приєднуваної деталі з комплектом допоміжних баз базової деталі з подальшим додатком силового замикання, а процес складання будь-якого виробу розглядається як реалізацію модулів з'єднання в певній послідовності. До складу технологічного забезпечення складання входять модулі з'єднання, технологічних баз, обладнання, інструментальної наладки, пристосування та контрольно-вимірювального пристрою. Недоліком такого підходу є ще більший ухил в конструкцію та дуже малий в складальну технологію. Створюється мимовільне враження, що все базується тільки на поверхнях деталей і їх сполученні, а все інше як би виявляється фоном. Формальний запис модулів не можна визнати повними і достатніми, так як не враховуються типи і види поверхонь, профілі, способи і види технологічної дії. Невирішеними частинами загальної проблеми можна вважати відсутність цілості методики компоновання модульних складальних переналаджуваних автоматів при її фрагментній розробці.

*Мета статті* полягає в доопрацюванні загальної методики компоновки модульних складальних переналагоджуваних автоматів, що охоплює всі питання безпосереднього впливу на ефективність розв'язку.

*Викладення основного матеріалу.* Встановлення компоновки складального автомату виконується перед його проектуванням на підставі креслення виробу, вимог і технологічного процесу складання. Правильно вибрана компоновка зумовлює подальше конструкційне опрацювання і в загальному ефективність складального автомату. Оптимізація компоновки складального автомату пов'язана з застосуванням математичних моделей, методів оптимізації, лінійного чи динамічного програмування, тощо, але головне – формалізації та алгоритмізації. Незважаючи на достатню кількість опублікованого матеріалу такі підходи при практичному проектуванні складальних автоматів майже не застосовуються з-за того, що більшість проектних рішень не піддається формалізації чи алгоритмізації, а також деяким розрахункам. Відомо, що встановлення конкретних конструкційних рішень проводиться за чотирма групами критерій: попереднього досвіду проектної організації, повній технічній інформації по темі проектування, спеціальним розрахункам і особливо досвіду конструкторів [1]. При цьому, розрахунковим шляхом приймається не більше 5-15% конкретних рішень. Очевидно, що для забезпечення оптимальних компоновок складальних автоматів повинен використовуватися комплексний підхід, що об'єднує не тільки вказані критерії, а і інші не менш важливі.

Встановлення оптимальної компоновки переналагоджувального модульного складального автомату повинно розглядатись в контексті до методики їх проектування, як один з головних етапів, що забезпечує високий рівень ефективності. В протилежному випадку, коли розглядатиметься лише компоновка автомату, то з великою імовірністю можливі далеко не оптимальні рішення.

В загальному методика проектування переналагоджувальних модульних складальних автоматів охоплює три стадії (рис. 1). На підготовчій стадії забезпечується повнота необхідної інформації, обґрунтованість постановки задачі та терміни виконання при ряді вимог, обмежень, складальних особливостей, потрібному рівні проектувальників і їх оснащенні. При цьому суттєвим залишається можливість забезпечення потрібного рівня якості об'єктів автоматичного складання при мінімальних затратах. Якщо всі елементи підготовчої стадії достатньо добре описані [1, 5], то два з них, такі як формалізація складальних даних і визначення напрямків рішення вимагають деякої уваги.

Ріст застосування інформаційних технологій, як пріоритетного напрямку, вимагає створення та підтримки єдиного інформаційного простору. Тому на перший план висувається формалізація складальних даних, котра поки що розроблена фрагментно, але є актуальною та необхідною для впровадження *CALS*-технологій. Одним з таких способів є формалізація складальних даних за допомогою об'ємних матриць [4], коли по її координатним напрямкам стовпці та рядки описують головні параметри, а їх конкретизація представляється в поперечних рядках і стовпцях. При визначенні напрямків рішення після перевірки застосування традиційних способів слід звернути увагу на не традиційні, не відомі, а навіть запозичені з зовсім інших галузей. Практика показує, що власне там можна знайти високоефективне розв'язання, але для цього потрібна висока кваліфікація проектувальників.

Центральною є виконавча стадія, задачі якої полягають у встановленні адекватної моделі складального автомату, виборі способу та схеми автоматичного складання та переналагодження, технологічної та конструкційної компоновок. Як видно стадія виконується на базі підготовчої, що у великій мірі зумовлює можливість одержання високоефективної конструкції переналагоджувального модульного складального автомату.

Початком стадії є відпрацювання конструкції об'єкту складання на технологічність, або перевірка рівня технологічності, коли таке відпрацювання було виконане. Добре відомо, що більшість виробів не є пристосованими до автоматичного складання [1], а тим більше гнучкого та ще й модульного. Невідповідність технологічності конструкції об'єкту складання – це додаткове ускладнення автомату, збільшення часових і вартісних витрат, зменшення надійності та довговічності його роботи. Така методика відпрацювання відома [5] і тому часові затрати на це окупляться сторицею. Можна навіть зауважити, що високотехнологічний об'єкт складання запорука успіху при проектуванні автомату.

Щоб не винаходити ще раз колесо, на базі вхідних даних необхідно правильно окреслити аналоги і вибрати прототип, тобто вийти на рівень сучасних розробок у даній галузі. Завдання, яке стоїть перед проектувальниками полягає не у відтворенні відомих взірців конструкції при можливому навіть погіршенні, а створенні конструкції переналагоджувального модульного складального автомату з додатковим ефектом і більш високими показниками роботи. Для правильного окреслення аналогів і прототипу доцільно користатися патентними



Рис. 1. Блок-схема методики проєктування конструкцій переналагоджуваних модульних складальних автоматів

фондами бібліотек і Інтернетом.

Подібно вирішується питання з встановлення способу автоматичного складання, оскільки це також визначатиме майбутню структуру та конструкцію автомату та ефективність його роботи. Тому вибір способів автоматичного складання достатньо відповідальна задача. З меню способів складання вибираються лише ті, що забезпечать найпростіший розв'язок конструкції, а саме, прості складальні рухи без додаткових приводів, вертикальну вісь складання, одночасне складання декількох з'єднань, суміщення вісей поверхонь з'єднання за рахунок пошукових переміщень під дією сил поля (гравітаційного, електромагнітного, пневматичного, тощо). При виборі слід звертати увагу на способи параметричного складання при переміщенні деталей без додаткових механізмів і приводів за рахунок підбору відповідних параметрів. На цьому етапі встановлюються також способи автоматичної подачі деталей, вузлів, просторового та взаємного орієнтування, базування, установки, закріплення, з'єднання, фіксації, контролю та транспортування при умові створення єдиного ансамблю з тісно взаємопов'язаними частинами.

Розробка технологічної схеми автоматичного групового складання проводиться за правилами індивідуального складання вузла [4]. Ці схеми наочно показують структуру і послідовність складання вузла. Оскільки формування технологічної схеми групового складання дещо ускладнюється, то можна рекомендувати спосіб суміщення схем одиничних вузлів групи, розроблених за певними правилами. Такі схеми складаються по подібності виконання окремих елементів технологічних операцій автоматичного складання, котрі виконуватимуться на переналагоджуваному автоматі. Це означає, що подача різнотипних деталей, їх орієнтування,

базування, установка, з'єднання, фіксація, контроль і транспортування на окремих позиціях повинні виконуватись за одною схемою з потрібним простим переналаджуванням. Наприклад, якщо на кожний елемент складальної операції (рис. 2) після можливого переналаго-

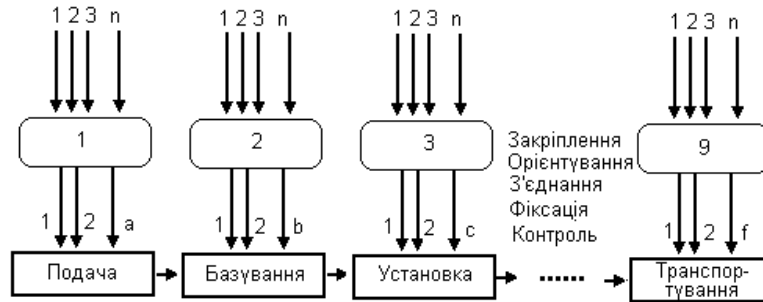


Рис. 2. Схема формування групи складованих вузлів на переналаджуваному складальному автоматі: 1-9 – переналаджувальні механізми вказаних елементів складальної операції

дження з  $n$  деталей може поступати лише  $a, b, c, d, \dots, f$  деталей, то буде розроблятися автомат на  $c$  деталей, де  $c < a, b, d, \dots, f$  є найменшою їх найменшою кількістю серед вказаних об'єктів. Основні труднощі полягають у визначенні діапазону переналадження, але отриманий результат є попереднім і буде уточненим далі. Тепер відштовхуючись від отриманої групи об'єктів складання та аналогічності виконання окремих елементів складальної операції розробляється технологічна схема автоматичного складання у вигляді показу умовних об'єднаних деталей та спільних технологічних складальних рішень. Умовне об'єднання складаних вузлів подібне процесу формування комплексних деталей та вузлів в груповій технології. Виходячи з креслень вузлів і технологічної схеми складання можна перейти до визначення необхідних основних і допоміжних рухів для здійснення автоматичного складання.

Аналіз і синтез складальних рухів виконується з метою створення ефективних компонок і конструкцій модульних складальних переналаджувальних автоматів для групи конструкційно та технологічно подібних об'єктів складання. При цьому, група об'єктів складання коректується для спрощення конструкції складального автомату. Видами складальних рухів, що забезпечують з'єднання різнотипних деталей є лінійні, обертові, гвинтові, криволінійні плоскі чи просторові, вібраційні, комбіновані рухи, тощо, які реалізуються по-різному (рухи прилучуваної деталі, базової, комбіновані). З аналізу складальних операцій різнотипних вузлів слідує, що в загальному такі основні складальні рухи можна описати як

$$R_{l,\varphi} = \begin{vmatrix} R_l & R_{l,\varphi} \\ & R_\varphi \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} l_1 & l_{12} & l_{13} & l_1\varphi_1 & l_1\varphi_2 & l_1\varphi_3 \\ & l_2 & l_{23} & l_2\varphi_1 & l_2\varphi_2 & l_2\varphi_3 \\ & & l_3 & l_3\varphi_1 & l_3\varphi_2 & l_3\varphi_3 \\ & & & \varphi_1 & \varphi_1\varphi_2 & \varphi_1\varphi_3 \\ & & & & \varphi_2 & \varphi_2\varphi_3 \\ & & & & & \varphi_3 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де  $l_i\varphi_i$  - складальні лінійні та обертові рухи відносно відповідно однієї, двох і трьох координатних вісей;  $R_l, R_\varphi, R_{l,\varphi}$  - матриці цих рухів. Аналогічно можуть бути описаними і допоміжні складальні рухи. Тоді основні складальні рухи можна описати об'ємною матрицею (рис. 3)

$$R_{l,\varphi,t} = R_{l,\varphi} \cap R_{l,t} \cap R_{\varphi,t}, \quad (2)$$

де  $R_{l,\varphi}, R_{l,t}, R_{\varphi,t}$  - складові звичайні матриці;  $\cap$  - логічний добуток „і”.

Як видно, координатними напрямками об'ємної матриці є величинами лінійних і обертових рухів, час їх виконання. При цьому характер їх зміни може бути вибраним довільно, як наприклад показано на рис. 3. Об'ємна матриця складається з множини елементних матриць  $R_{l_i\varphi_i t_i}$ , котрі можуть бути додатково розширеними по іншим потрібним трьом критеріям, на-

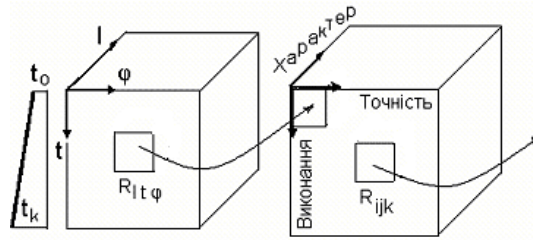


Рис. 3. Основна об'ємна матриця складальних рухів і її розширення

приклад, характеру, просторовому виконанні та точності відпрацювання і т.д. до отримання повного їх опису з бажаним ступенем деталізації. Таким підходом може бути достатньо просто вирішена задача формалізації складальних рухів.

Диспонуючи таким формальним описом можливих складальних рухів і вимогами щодо потрібних, легко встановити необхідні для виділеної групи складальних вузлів. Їх синтез полягає у компонованні та пошуку найкращої структури. Розширюючи такий підхід можна створити об'ємну матрицю механізмів їх реалізації, що було б корисним для творення конкурентоспроможних варіантів.

Визначення області параметрів і характеристик проводиться за конструкційно-технологічними вимогами, характеристиками переналагодження, різними обмеженнями, котрі обмежують можливі розробки складального автомату і можуть бути описаними математичною моделлю. Така модель представляє собою невизначену нелінійну систему рівнянь і обмежень, які описують взаємозв'язок вхідних і вихідних величин і тому деяку множину рішень, що і спричиняє вибір оптимального варіанту. Відома методика такого встановлення [6], в якій для оцінки якості варіанту впроваджується критерій ефективності, котрий співвідносить потрібні характеристики чи властивості та затрати (ефект↔затрати). Модель має бути багатокритеріальною та укерункованою на багатоцільові системи, що найбільш повно відповідає різноманітним умовам функціонування складального автомату, використанням декількох показників ефективності, складній структурі, котра складається з автономних конструкційних модулів, які виконують окремі часткові задачі. При цьому проводиться оптимальний розподіл часткових задач по конструкційним модулям, що формує загальну задачу. Оптимізація параметрів може бути представлена як мінімізація функції при заданих обмеженнях, чи модифікована заміною кожної нелінійної функції обмеження двома першими членами ряду *Тейлора* [7], тобто зводиться до задачі лінійного програмування за алгоритмом визначення оптимального розподілу параметрів технічної системи.

Формування моделі ідеального рішення дозволяє частково на перших етапах обійти багатоваріантність розв'язку, забезпечивши найкращу якість. По своїй суті ідеальне рішення це таке, якого б хотілось досягнути, але враховуючи різні технічні обмеження при розробці воно буде погіршуватись. Очевидно що при формуванні ідеального рішення слід в першу чергу застосовувати нетрадиційні підходи, стараючись створити щось принципово нове та високо-ефективне. З моделі ідеального рішення впливатиме принцип дії автомату та його попередня кінематична схема.

На підставі попередніх даних вибирається принцип дії складального автомату та розробляється кінематична схема. Найбільш ефективні автомати були створені з використанням само центрування, яке забезпечується скануванням. В таких автоматах потрібна точність замикаючої ланки забезпечується зміною відносного положення складаних деталей і не залежить від точності цілого ланцюжка допусків на робочі ланки складального автомату. Принцип дії складального автомату передбачає попереднє встановлення характеру і способу взаємодії окремих елементів автомату, що забезпечують виконання всіх функцій складальної операції. Принцип дії складального автомату в цілому і окремих його частин встановлюється за вибраними способами автоматичного складання і реалізується певними кінематичними схемами механізмів, котрі описують відносні рухи окремих ланок. При кінематичному синтезі проектується схеми механізмів автомату, що забезпечують потрібні задані рухи і переміщення окремих елементів з заданими швидкостями та точністю. Процес супроводжується оптимізацією та необхідними розрахунками.

Очевидно, що головним буде переналагодження складального автомату, яке в загальному визначається гнучкістю складальної технології. Теоретично, чим вища така гнучкість, тим ширша переналагоджуваність складального автомату, але остання визначається технічними і економічними можливостями. В загальному це властивості деталей та вузлів, їх групування, особливості та режими складання, тощо. Це з одного боку наявність надійних переналагоджуваних механізмів, а з іншого – допустимий час переналагодження (протиріччя між

продуктивністю та її втратою при переналагодженні). Взагалі то це питання в загальному вирішується на етапах формування групи складальних вузлів моделі ідеального рішення та інших, а тепер коректується при формуванні схеми та структури переналагодження. Переналагоджуваність повинна розглядатися на технологічному, конструкційному та алгоритмічному рівнях, що відповідає технології, конструкції та керуванню. Головними способами забезпечення переналагоджувальності є використання універсальних функціональних елементів і їх взаємного розташування. Певне місце займають адаптивні елементи, самопереналагодження, але їх застосування вимагає технічного і економічного обґрунтування. При використанні модульного принципу побудови складального автомату можуть бути застосовані змінні переналагоджувані модулі і тоді процес переналагодження зводиться до їх заміни. З точки зору вирішення протиріччя продуктивність – переналагодження таке рішення можна вважати найкращим. Але в загальному задача переналагодження також багатоваріантна, багатокритеріальна і вимагає найдетальнішого опрацювання з використанням оптимізаційного рішення.

Виявлення виконавчих механізмів проводиться за прийнятими способами автоматичного гнучкого складання, складальними рухами, параметрами, характеристиками і принципом дії автомату та його кінематичною схемою. На цьому етапі переходиться до встановлення характеристик, розмірів, потрібних об'ємів виконавчих механізмів, їх взаємозв'язку, тобто матеріалізації принципової схеми складання. Помічним матеріалом виступатимуть каталоги сучасних виконавчих механізмів.

Уточнення технологічних модулів групового процесу гнучкого складання проводиться на підставі можливих змін, що зайшли на попередніх етапах. В плані автоматичного складання технологічний модуль - це функціонально закінчена, зв'язана між собою сукупність основних і допоміжних складальних рухів (дій), виконуваних згідно вказаним режимам в заданій послідовності на одному робочому місці, що мають потрібні технологічні можливості і характеризуються автономністю, зв'язаністю, стикувальністю, гнучкістю, надмірністю, постійністю складальних інструментів і з'єднувальних поверхонь.

Схема взаємозв'язків між модулями технологічної системи (рис. 4) показує технологічний модульний процес, в якому кожний модуль пов'язаний з попереднім, наступним, модулями управління та конструкційним модулем технологічними, конструкційними і програмними параметрами. Причому, параметри модуля виходів повинні відповідати вхідним подальшого, а їх перетворення усередині модуля - функції перетворення. Наприклад, узгодження технологічних модулів по точності чи продуктивності передбачає рівність складальних похибок і кількість складених об'єктів на виході-вході модулів при забезпеченні його нормального функціонування.

В автоматичному складанні доцільно виділити 12 основних типів модулів (рис. 5), котрі класифікуються далі за прийнятими критеріями. Так, різновидами завантажувальних модулів є: бункерні, штабельні, роботизовані, палетні, касетні, валкові, кліщові, ролико-клинові, крокові та інші. Класифікацію базуючих модулів краще проводити по числу позбавлених ступенів свободи об'єкту складання, які виконують жорстке, гнучке або комбіноване базування. Подібно класифікуються і інші основні модулі. Отже, виділяється ряд ієрархічних рівнів класифікації по вибраним критеріям, при цьому, така класифікація може бути як завгодно розширена, забезпечуючи бажану деталізацію складальних модулів.

Як наголошувалося, елементарний технологічний модуль виконує одну або декілька простих функцій. Укрупнені модулі є їх комбінацією. Практичний інтерес представляє сту-

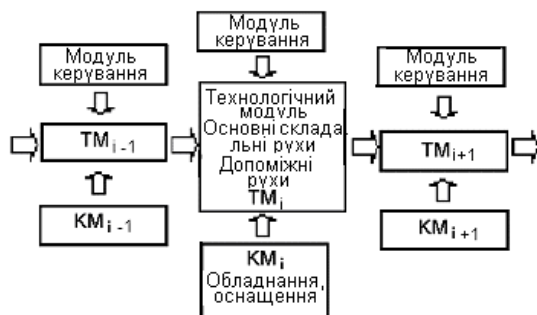


Рис. 4. Схема взаємозв'язків між модулями складальної системи



Рис. 5. Класифікація технологічних складальних модулів

пільнє поєднання елементарних модулїв. Можна говорити про концентрацію чи диференціацію складальних функцій, але при цьому їх кількісний вираз навряд чи вдасться отримати. Для вирішення цієї задачі можна запропонувати наступний підхід. Поєднання елементарних модулїв в укрупнений (ступїнь поєднання функцій) необхідно проводити по конструкційному модулю, котрий відповідає технологїчному. В першому наближеннї вважається, що при формуванні структури конструкційного модуля є два типи обмежень: по надійностї його роботи і необхідними на це витратами. Насправдї задача дещо ускладнюється. По-перше, доцїльность концентрації того або іншого ступеня визначається конструкцією конкретного складального вузла та технологїєю його автоматичного складання. По-друге, перед ускладненням конструкції модуля прагнуть підібрати бїльш простий і надійний спосїб складання, реалізований спрощеною та бїльш продуктивною конструкцією модуля при мїнімальних витратах. Тому автономний конструкційний модуль повинен охоплювати виконання бїльшого числа складальних функцій на основї застосування нового способу. При цьому, в конструкційний модуль повинна бути закладена можливїсть переналадження на бїльше число складаних об'єктїв. З другого боку, такий модуль повинен мати деяку надмїрность складальних можливостей. Тому можна видїлити чотири етапи в побудовї технологїчного модуля: технологїчний синтез, конструкційний синтез, структурно-функціональна побудова модуля та його формування. На цих етапах об'єкт синтезу розглядається як деяка система, визначувана безлїччю зв'язків, відносин і обмежень на всїх рївнях деталїзації.

Пропонована схема технологїчного модуля деталї описується рядом об'ємних матриць, що розкривають його конструкторські, технологїчні та організаційні параметри (рис. 5). На першому мїсці виступає матриця поверхонь складаної деталї  $M_{1k}$ , що описує клас деталї, рїзновиди поверхонь і властивостї (напрямки  $i, j, k$ ). Кожний клас деталей, рїзновиди поверхонь і властивостї при необхідностї можуть бути розширенї своїми матрицями, котрї будуються по алгоритму дерева. Наприклад, елементарна матриця, що описує  $i^y$  поверхню,  $j^y$  властивїсть і  $k^{uz}$  клас деталей розширяється в об'ємну матрицю макрогеометрії  $M_{2k}$ , тобто розмїрїв поверх-

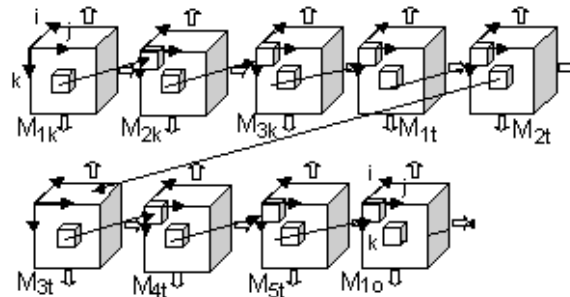


Рис. 5. Схема способу опису технологїчного модуля складаної деталї

нї, їх точностї та жорсткостї деталї. Подальше розширення окремого елемента матрицї в цьому напрямку приводить до матрицї мїкрогеометрії  $M_{3k}$ , тобто конкретизації відхилень форми, просторового розташування, висоти шорсткостї. На цьому характеристика конструкторських параметрїв може бути закінчена чи, при потребї, продовжена. Далї слїдує характеристика технологїчних параметрїв. Матриця процесу  $M_{1t}$ , дає уявлення про продуктивность виготовлення деталї, його структуру і рїзновиди обробки. Як і ранїше, є можливїсть подальшого поглиблення кожної з характеристик. Наступна матриця базування  $M_{2t}$ , описує число одночасно оброблюваних деталей, спосїб їх базування та використовуванї технологїчні бази. Матриця обробки  $M_{3t}$  деталїзує необхідну обробку, точность, що досягається, відхилення форми поверхнї. Матриця оснащення  $M_{4t}$ , описує необхідне обладнання, інструмент і пристосування, а наступна матриця  $M_{5t}$  - режими обробки. Останньою виступає матриця організації роботи  $M_{1o}$ , котра описує організаційну форму роботи, мїжопераційнї перемїщення та використовуване транспортне устаткування.

Позначивши буквами, вказанї на рис.5 напрямки розширення матриць, можна записати

$$\begin{aligned}
 M_{k1} &= \bigcup (P_S \wedge S_V \wedge M); & M_{i1} &= \bigcup (P_R \wedge S_T \wedge O_B); & M_{i4} &= \bigcup (O_S \wedge I \wedge O_P); \\
 M_{k2} &= \bigcup (R \wedge T_K \wedge Z); & M_{i2} &= \bigcup (D \wedge T_B \wedge S_B); & M_{i5} &= \bigcup (N \wedge T \wedge S_\Delta); \\
 M_{k3} &= \bigcup (F_K \wedge R_a \wedge H_R); & M_{i3} &= \bigcup (W \wedge T_T \wedge F_T); & M_{o1} &= \bigcup (O_F \wedge T_R \wedge O_T),
 \end{aligned} \tag{3}$$

де  $\cup$  - логічне об'єднання.

Тоді об'ємна матриця, що описує модуль збираної деталі

$$M_{TM_D} = \bigcup_1^3 M_{k1} + \bigcup_1^5 M_{Tj} + M_{o1} . \quad (4)$$

Або в загальному вигляді

$$M_{TM_D} = \bigcup_1^n M_i \quad (5)$$

де  $n$  - загальне число розгорнених матриць.

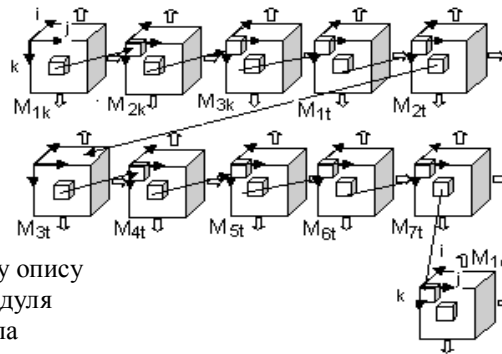


Рис. 6. Схема способу опису технологічного модуля складаного вузла

Технологічний складальний модуль описується подібно. Як ілюстрації на рис. 6 показано один напрямок такого розширення. Матриця поверхонь складаних деталей  $M_{1k}$ , описує поєднання з'єднаних поверхонь, вид складального з'єднання та вимоги, що пред'являються до нього. Уточнюючи з'єднання поверхонь, наступна матриця макрогеометрії складального з'єднання  $M_{2k}$  конкретизує вид функціональних переміщень, розміри і жорсткість складаного вузла. Матриця точності  $M_{3k}$  розкриває метод досягнення точності з'єднання, відхилення форми і взаємних переміщень. На цьому конструкторські параметри складального модуля закінчені, хоча при необхідності далі можуть бути розширеними додатковими матрицями. Технологічні параметри описують матриці структур  $M_{1t}$  (продуктивність, спосіб складання, структура процесу), складальних рухів  $M_{2t}$  (види рухів, основних і допоміжних), базування  $M_{3t}$  (число одночасно складаних деталей, спосіб базування, технологічні бази), орієнтування  $M_{4t}$  (спосіб орієнтування, просторового та взаємного), сполучення  $M_{5t}$  (характер сполучення, фіксації, контролю), складального оснащення  $M_{6t}$  (обладнання, інструмент, пристосування) і режимів складання  $M_{7t}$  (сила, спосіб прикладання, подача). Матриця організації складання  $M_{1o}$  має ті ж напрямки розширення, що і у попередньому випадку.

Опускаючи проміжні об'єднання матриць, які подібні попередньому випадку, можна записати матрицю, що описує модуль складання вузла

$$M_{TM_s} = \bigcup_1^3 M_{ki} + \bigcup_1^7 M_{Tj} + M_{o1}; \quad (6)$$

$$M_{TM_s} = \bigcup_1^m M_i, \quad (7)$$

де  $m$  - загальне число розширених матриць складання вузла.

З приведеного слідує ієрархічні рівні структуризації модульної складальної технології, які для даних випадків показані на рис. 7. На основі висловленого і приймаючи приведені розширення матриць достатнім, кожний технологічний модуль в цьому випадку може бути повністю описаний прямокутною матрицею  $3 \times 9$



$$TM_D = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ t_{91} & t_{92} & t_{93} \end{bmatrix} \quad (8)$$

де  $t_{ij}$  - межі зміни параметрів, описаних матрицями (5). Для автоматичного складання використовується подібна матриця, що відображає результати розширення, показана на рис. 6

$$TM_S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{11,1} & s_{11,2} & s_{11,3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

де  $s_{ij}$  - межі зміни параметрів, описаних матрицями розширення.

Розроблення технологічної та конструкційної компоновок відноситься до структурного аналізу та синтезу і виконується на базі технологічних і конструкційних модулів, технологічної схеми складання та складальних рухів. Матриця технологічних компоновок, що складаються з технологічних модулів може бути описана матрицею

Технологічна компоновка в загальному може бути описана матрицею

$$TK_i = \begin{vmatrix} & B_1 & B_2 & B_3 \\ P_1 & P_1 B_1 & P_1 B_2 & P_1 B_3 \\ P_2 & P_2 B_1 & P_2 B_2 & P_2 B_3 \\ P_3 & P_3 B_1 & P_3 B_2 & P_3 B_3 \end{vmatrix} \quad (10)$$

де  $B_i, P_i$  - відповідно, технологічні модулі обертання та переміщення відносно одної, двох чи трьох координатних вісей. Таким чином може бути виділено 15 типових множин технологічних компоновок.

Оскільки технологічні модулі повинні мати деяку надлишковість, що забезпечує маневреність і сервіс, то матриці технологічних компоновок мають включати надлишкові рухи і їх поєднання. При цьому, число варіантів компоновок, а потім і конструкцій, ще зростатиме і вимагатиме застосування діалогового проектування. Компоновки доцільно представляти фреймами, семантичними мережами і проводити скалярно-оптимізаційний чи парнодомінантний вибір.

В конкретних випадках автоматичного гнучкого складання матриці технологічних і конструкційних компоновок будуть значно простішими. Наприклад, така матриця для автоматичного складання пластинчастих пакетів магнітопроводів має вигляд  $B_i P_i$  і включає 21 елементарний модуль, що попередньо укрупнюються в 6 комплектів, котрим можуть відповідати 5-6 конкурентоспроможних модулів. Як видно, кроками у формуванні конструкційних модулів є визначення необхідного числа елементарних технологічних модулів за конструкцією виробу та гнучкою технологією складання, формування технологічних компоновок і визначення відповідних їм конструкційних. Найменша зміна на кожному етапі впливає на кінцеву компоновку складального автомату. Конструкційна реалізація оптимальної компоновки пов'язана з конкретизацією конструкційних ознак.

Правильно проведена оптимізація структури модулів, їх параметрів і режимів автоматичного складання включає ряд етапів і є запорукою успіху. Етапами типової процедури оптимізації є розробка вимог щодо оптимізації, побудова та дослідження моделей функціонування складального автомату і зв'язку параметрів функціонування та конструкції, розробка конструкційних варіантів складальних модулів і автомату в цілому. При оптимізації застосовується наступний порядок оптимізаційних розрахунків: вибір критеріальних рівнянь, побудова моделей, проведення при необхідності експериментів по встановленню залежності числових характеристик автомату від його конструкційних елементів чи експлуатаційних харак-

теристик за відомими моделями, встановлення обмежень, проведення багатокритеріальної оптимізації.

Забезпечення оптимальності рішення досягається за рахунок застосування різних методів [1, 4]. Вимагається математичне визначення характеристики розподільної функції, стратегії та режимів з точки зору мінімізації показника ефективності. При цьому, зовнішня множина параметрів описує розмаїття цільового призначення автомату, яке потрібно покрити областями досяжних значень елементів стратегії. Багатоелементна стратегія дозволяє враховувати дію декількох елементів, направлених на підвищення ефективності виконання множини параметрів, котрі розподілені між окремими елементами. Найбільш складним є отримання області спеціалізації елементів стратегії, що представляє собою підмножину області технічно досяжних параметрів.

Оптимізація при модульному підході суттєво спрощується, оскільки технологічні та конструкційні компоновки складаються з окремих модулів і їх формування зводиться до вибору необхідних, котрі вже є оптимізованими. Тому можна вважати, що оптимізація складається з двох етапів: оптимізації технологічних і конструкційних модулів, яка виконується один раз при їх формуванні та оптимізації компоновки і автомату в цілому.

При встановленні оптимальної компоновки складального автомату суттєве значення можуть мати інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень в умовах неповної, неточної, а підчас і суперечної інформації [6], яка взагалі важко формалізується, а критерії неоднозначно визначені. Рішення таких задач проводиться на підставі неструктурованих процедур, які використовують досвідні знання, кваліфікацію та інтуїцію проектувальників.

У загальному в інтелектуальну підтримку входять: аналіз і синтез необхідної інформації, методи ідентифікації побудови нечіткої системи, генерування її нечіткої бази за допомогою штучних засобів, наприклад нейронних мереж, методи і алгоритми підтримки прийняття різновидів технічних рішень, інтерактивний алгоритм вирішення багатокритеріальних задач оптимізації з використання, наприклад, генетичних алгоритмів, розробка пакету прикладних програм реалізації інтелектуальної системи прийняття рішення та багато іншого. Зараз у цьому напрямку робляться лише перші кроки, тому конкретний прогноз може бути утруднений, як у кожній дуже нечіткій імплікації. Крім того, інтелектуальна система прийняття технічних рішень має на меті забезпечення оптимального стану автоматичної складальної системи відносно вибраного критерію незалежно від її первісного стану та прийнятого початкового рішення. Відомо, що немає сенсу застосовувати методи штучного інтелекту для отримання технічних рішень, котрі мають точний аналітичний алгоритм, потребують високу точність розрахунку, а також багатоступеневого логічного висновку та міркувань.

*Висновки.* Методика встановлення оптимальних компоновок модульних складальних автоматів може розглядатися в широкому і вузькому аспектах. Вузький аспект полягає лише у встановленні технологічних і конструкційних компоновок, а широкий загалом ще і конструкцію і сам складальний автомат з вибраних компоновок, по якій найкраще видно результат. Розроблена методика охоплює три стадії та 36 етапів, розподілених між ними. При цьому, найбільш важливими моментами є формалізація складальних даних, встановлення способів гнучкого складання та переналагодження, формування моделі ідеального рішення, встановлення модулів, технологічної та конструкційної компоновок, дослідження роботи автомату та коректування прийнятих рішень. Запропонований спосіб опису модулів і компоновок максимально повно їх описує, забезпечуючи як завгодно повну деталізацію. Представлені матриці просто математично обробляються та програмуються, а надалі при програмній обробці можуть бути доведені навіть до схемо-чисельних значень.

#### Список літератури

1. Машиностроение. Энциклопедия. Технология сборки в машиностроении. Т III-5 / Под общей ред. Ю.М. Соломенцева. –М.: Машиностроение, 2001. -640 с.
2. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технических систем непрерывного действия. –Донецк. ДонНТУ, 2002. -379 с.
3. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. -М.: Машиностроение, 2001. -368 с.
4. Technika i Technologia montażu Maszyn // Materiały V Międzynarodowej naukowo-technicznej konferencji – 2004. Politechnika Rzeszowska, -Rzeszów, 2004. - S 261.
5. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: Справочник. –М.: Машиностроение, 1995. -608 с.
6. Сетлак Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. –Киев: Логос, 2004. -251 с.
7. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике. –М.: Наука, 1985. -750 -с., ил.

*The presented method secures the choice of optimum packaging and construction of module assembling adjustable automaton on the basis of group technological process, operated on technological effectiveness of constructions assembly units and details, formalized assembly data and design-technological limitations. A method basis is been by model of ideal decision, elaboration of technological and forming the construction modules, establishment of technological and construction packaging and theirs optimization. Can be used for the choice of such designer decisions of similar automatic equipment and equipment.*

*Представленная методика обеспечивает выбор оптимальной компоновки и конструкции модульных сборочных переналаживаемых автоматов на основе группового технологического процесса, отработанных на технологичность конструкций сборочных узлов и деталей, формализованных сборочных данных и конструкторско-технологических ограничений. Основой методики является модель идеального решения, уточнение технологических и формирование конструкционных модулей, установление технологической и конструкционной компоновок, и оптимизация. Может быть использована при выборе таких конструкторских решений подобного автоматического оборудования и оснащения.*

Прізвище **Григор'єва**  
Ім'я **Наталія**  
По-батькові **Сергіївна**  
Навчальний заклад (місце роботи) **Луцький державний технічний університет**  
Рік навчання (посада) **доцент**  
Адреса для листування **43006, Луцьк, Вишківська 13**

Прізвище **Шабайкович**  
Ім'я **Віктор**  
По-батькові **Антонович**  
Навчальний заклад (місце роботи) **Жешівська політехніка**  
Рік навчання (посада) **професор**  
Адреса для листування **Polska, 35-959, ul. W. Pola 2, WBMiL, KTMiOP**