

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.9

Н.С. Григор'єва
Луцький національний технічний університет

МОДУЛЬНІ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ – НОВИЙ НАПРЯМ У ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

© Григор'єва Н.С., 2011

З позицій системного аналізу розглянуто основні положення науково-технологічних основ модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва, зокрема теоретичні підходи до їх формування, моделювання деяких процесів. Описано результати аналізу останніх досягнень, розроблено структуру синтезу гнучкого модульного складання виробів, системи модульного складання, забезпечення їх гнучкості. Наведено методику розроблення модульних технологічних процесів автоматизованого гнучкого складання виробів.

From the standpoint of system, analysis considered the main provisions of scientific and technological bases of flexible modular automated assembly production, including theoretical approaches to their formation, modelling of some processes. The results of the analysis of achievements developed a flexible modular structure synthesis assembly of products, modular assembly systems, to ensure their flexibility. The above method of modular technological processes automated flexible assembly of products.

Постановка проблеми. Складання є одним з найбільш важливих складових технологічних процесів виробництва виробів, де формується їх якість і конкурентоспроможність. Велика працемісткість обумовлена невисокою продуктивністю та надійністю. Підвищення ефективності складання досягали застосуванням типових і групових складальних процесів. Модульна технологія трактується як продовження розвитку типової та групової складальної технології, тепер вважається принципово новим напрямком в машинобудівному виробництві і тому є однією з актуальних проблем сучасного виробництва.

Підвищення ефективності модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва тому є важливою народногосподарською проблемою. Таке виробництво найбільш повно відповідає швидкій зміні номенклатури виробів, тобто вимогам сучасної ринкової економіки. Якщо в багатосерійному чи масовому виробництвах раніше використовувались добре відпрацьовані автоматичні лінії та їх технологічне оснащення, то в сучасному серійному виробництві застосовуються гнучкі системи різного рівня інтеграції та автоматизації. Технології складального виробництва завжди приділялось недостатньо уваги, хоча саме там формується якість і конкурентоспроможність продукції, є високі загальні витрати праці і працює найбільша кількість робітників.

Підтвердження актуальності проблеми можна знайти в концепції розвитку майбутнього комп'ютерно-інтегрованого виробництва, елементом якого є модульне автоматизоване гнучке складання. Проблеми модульного гнучкого складання лежать у різних площинах, але насамперед конструкційній, технологічній, організаційній та алгоритмічній при забезпеченні підвищення якості та конкурентоспроможності виробів і закладенні в їх основу положень: *простіше, краще, дешевше*.

При високій актуальності та важливості цього науково-прикладного напрямку ця наукова проблема є ще недостатньо дослідженою і вимагає в першу чергу розробки бази рішень – науково-технологічних основ модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва, з використанням яких можна одержати ітераційно-рекурентні методики проектування технологічних модульних складальних процесів і модульного переналагоджуваного обладнання та оснащення. Тому розвиток науково-технологічних основ модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва, які його вдосконалюють, підвищують ефективність, якість та конкурентоспроможність виробів, скорочують технічну підготовку, є важливим для національної економіки України.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш загальне поняття модуля було сформовано *Бор-Раменським*: модуль – це цілісність, спряжувана з іншими елементами (об'єктами) структури так, що можлива її оперативна заміна на іншу цілісність того ж функціонального призначення. Застосовують модульний принцип у різних галузях промисловості давно, але в машинобудуванні він обґрунтовано наведений в роботі *А.Л. Васильєва*, де його визначено як особливість побудови технічних систем, що полягає в підпорядкуванні їх розмірів проектним модулям і забезпеченні можливості комплектування різноманітних складних нестандартних технічних систем з великою різноманітністю характеристик з невеликої, економічно обґрунтованої кількості типів і типорозмірів однакових первинних загальних модуль-елементів. Чіткіше визначення знаходимо у *Б.М. Базрова* [1], який під модульним принципом розуміє побудову різних технічних систем з різноманітними характеристиками шляхом компонування їх з типових модулів обмеженої номенклатури. Впровадження модульного принципу у виробництво повинно починатися з модульної побудови виробу.

Мета статті. Метою статті є висвітлення елементів нового напрямку в технології машинобудування – модульного автоматизованого гнучкого складання виробів, деяких елементів його науково-технологічних основ.

Викладення основного матеріалу. Причини відсутності поступу в розвитку модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва криються в неправильному підході до розроблення проблеми, незастосуванні нових концепцій, невирішеності низки питань, що істотно гальмують їх широке виробниче впровадження, незважаючи на значні потенційні переваги. Одним з напрямків підвищення ефективності модульного гнучкого складального виробництва є розробка ефективних технологічних модульних складальних процесів і модульного переналагоджуваного складального обладнання з оснащенням. До першочергових технологічних завдань модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва належить розроблення його науково-технологічних основ, за якими формується методологія побудови технологічних і конструкційних модулів, проектування модульних технологічних процесів гнучкого складання виробів і модульного переналагоджуваного складального обладнання з оснащенням.

Класифікація модулів машинобудівних виробів передбачає їх поділ на модулі проектні та фізичні. Проектні модулі творять модулі простору (лінійні, площинні та об'ємні) і співвідношення розмірів (модулі „золотого перетину”, зубчатого колеса та відношення довжини до діаметра). Фізичні модулі підрозділяються на модулі функціональні (технологічні, обслуговуючі), та конструкційні (модуль „складальна одиниця” та „деталь”). Для опису конструкції деталі було введено поняття модуля поверхні як сполучення поверхонь або окремих поверхонь, що призначені виконувати відповідну службову функцію деталі та надавати їй конструкційної форми, обумовленої вимогами експлуатації та виготовлення. Такі поверхні об'єднані в класи: базові, робочі та зв'язні, які, своєю чергою, поділені на підкласи (26 найменувань). Виділяється модуль з'єднання, під яким розуміють пару суміщених модулів базових поверхонь однієї класифікаційної групи, що належать спряжуваним деталям, один з яких використовують як комплект допоміжних баз, а другий – основних баз. Тобто виріб є орієнтованою множиною модулів поверхонь та їх спряжень [1].

Технологічне забезпечення виробів на модульному рівні передбачає формування модулів поверхонь та їх спряжень. До складу технологічного забезпечення входять модулі спряження, модулі технологічного процесу складання, технологічних баз, технологічного обладнання, інструментального налагодження, пристрою та контрольно-вимірною пристрою. Таке представлення виробу сукупністю модулів поверхонь та їх спряжень, модулів технологічних процесів і засобів їх реалізації дало змогу створити елементну базу технологічного забезпечення на модульному рівні і за її допомогою використати системний метод при впровадженні модульного принципу в виробництво.

Відомі початки розроблення технологічних модульних процесів, переважно для механічної обробки деталей. Інформація про модульні автоматизовані складальні технології є незначною та фрагментарною. Наукові основи модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва поки що відсутні. Такий стан значно гальмує його подальший розвиток, не дає можливості розкрити і використати всі потенційні можливості. Тому можна вважати, що тепер у зв'язку із затребуванням робляться перші спроби впровадження модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва.

Нова концепція модульного автоматизованого гнучкого складання полягає в суміщеному застосуванні модульності, автоматизації та гнучкості, яка передбачає одночасне формування технологічних і відповідних їм конструкційних складальних модулів, тісний взаємозв'язок між різновидами виробів, складальною технологією, переналагоджуванним обладнанням і оснащенням з повним використанням цих можливостей. Головними підходами при цьому є розроблення та використання елементів вискоєфективних складальних технологій типу *CALS-technologies*, переналагоджуваності, адаптивності, формування якості та конкурентоспроможності, уніфікованості технологічно-конструкційних рішень [2].

Оптимізаційна модель траєкторій переміщення деталей при модульному складанні різнотипних виробів відрізняється від інших модульним принципом її побудови, коректністю математичного опису, широкою універсальністю, оптимізаційною сутністю, особливостями і відмінністю процесів суміщень рухів і дій при модульному складанні, переміщенням складаних деталей найкоротшим шляхом в кожному випадку складання, а не заданою траєкторією, можливістю досягнення нових модулів. Процес модульного гнучкого складання базових і приєднаних різних деталей виробів розглядається як суміщення в просторі двох пар векторів, що визначають їхнє положення, – одного осьового і другого – кутового.

Моделювання процесів переналагодження базування різнотипних деталей при модульному складанні в загальному зводиться до зміни просторового розміщення точок базування пристрою відносно точок базування деталей, тобто зміною положення та напрямків векторів їх орієнтації. Координати і напрямки орієнтуючих векторів і результуючих точок базування пристрою задаються в нерухомій системі координат, а деталі – в рухомій. Процес переналагодження полягає в суміщенні точок базування пристрою стосовно деталі. При цьому використовується математичний апарат оптимізаційної моделі суміщення векторів складаних деталей. Потрібне переміщення точок базування досягається регулюванням їх просторового положення, а за неможливості – використанням швидкозмінних базувальних модульних вставок. При цьому розглядаються лише базові поверхні, абстрагуючись від зовнішньої форми деталей, яку трактують як обмеження.

Під час моделювання технології модульного складання виробів виконується аналіз і синтез процесу з метою встановлення раціональної структури складальних модулів і модульного процесу загалом. При цьому використовуються як відомі розробки автоматичного складання, так і власні. Нова концепція формування складальних модулів і процесів полягає в тому, що для технологічних та конструкційних модулів, які одночасно формуються на основі встановлених складальних рухів і дій для типового виробу, встановлюються зв'язки між сукупністю таких рухів і дій, умов і обмежень при модульному складанні.

На основі теоретичних підходів, основних положень, виявлених зв'язків, системних принципів і функціональних закономірностей комплексної моделі процесу розкриваються характеристики систем модульного автоматизованого гнучкого складання деталей виробів. Застосування

модульного принципу при гнучкому складанні накладає свої особливості на структури, котрі полягають у формуванні складових підсистем, які творять як модулі, так і модульні комплекти і комплекси. Структури модульних гнучких складальних систем розроблено з використанням системного підходу, комплексності, модульного моделювання, функцій модульного автоматизованого гнучкого складання. Встановлення раціональної структури системи пов'язане з аналізом технічних і економічних показників, деякі з яких є похідними і з'являються лише під час розроблення, з забезпеченням високої якості складаних виробів, стабільності та надійності модульних технологічних процесів гнучкого складання за мінімальних витрат і високої ефективності.

При формуванні модульних автоматизованих гнучких складальних систем застосовується комплексний підхід з переглядом всього складального ланцюжка, широке використання модульного принципу та системного підходу, принципи модульної побудови виробів і засобів технологічного забезпечення, застосування засобів автоматизації вузьких місць, рекурентне підвищення показників якості та конкурентоспроможності, недопустимість поширення недостатньо опрацьованих малонадійних технічних рішень. Отже, основними принципами побудови модульних автоматизованих гнучких складальних систем можна вважати: системність, ітераційну рекурентність, переналагоджуваність, концентрацію робіт, універсальність моделювання модульних процесів, багатокритеріальність технологічно-конструкційних рішень, інформаційність забезпечення. Це дає змогу значно скоротити терміни розробки модульних гнучких складальних процесів і проектування переналагоджуваного модульного складального обладнання та оснащення за рахунок можливості швидкої компоновки їх з окремих технологічних і конструкційних модулів, підвищити якість і конкурентоспроможність, зменшити всі види витрат тощо.

Типова структура модульних автоматизованих гнучких складальних систем передбачає побудову з елементарних підсистем модульного типу. Так, підсистема вхідного контролю компонується з модулів подачі контрольованих об'єктів, їх установки на вимірній позиції, власне вимірювання, усунення браку та подачі якісних деталей чи вузлів виробів в наступні підсистеми, які можуть бути суміщеними. Залежно від виконуваних функцій до складальної системи можуть входити підсистеми в повному обсязі, в частковому, бути суміщеними, складатися з постійних і замінних модулів, блоків, елементів, але на рівні підсистем в загальному ціла модульна система гнучкого складання повинна бути рівнозваженою. Типова структура модульної гнучкої підсистеми твориться із вхідних функціональних і вихідних модулів, які управляються та працюють від підсистем управління і діагностування. При подачі складаних деталей з навалу в систему вводяться підсистеми визначення їх займаного положення та автоматичного просторового орієнтування. При використанні об'єднаних підсистем творяться комплексні підсистеми визначення займаного положення деталей з їх переміщенням і просторовим орієнтуванням, або комплексна підсистема автоматичного взаємного орієнтування, складання та фіксації. Підсистеми вхідного та вихідного контролю також можуть об'єднуватися в одну підсистему.

Розроблена структура синтезу гнучкого модульного складання виробів, представлена графами і матрицями, передбачає дев'ять етапів. На етапі 1 представляють типовий виріб і відпрацьовують технологічність конструкції, на етапі 2 – виявляють множину можливих порядків модульного складання із врахуванням особливостей конструкції. Функція розробки виражається як $D_T \rightarrow \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, де D_T – множина деталей d_i типового виробу, що виконується за правилами з'єднання деталей і обмеженнями автоматичного складання, з яких за графовими моделями і матрицями суміжності та інцидентності встановлюється їх раціональна послідовність. На етапі встановлюється базова деталь і на основі аналізу положень деталей – послідовність складання із встановленням часу складання. На етапі 3 на основі синтезу послідовності складання, умов і обмежень формується множина 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 переналагодження з подальшим 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 формують елементарні і комплексні технологічні і конструкційні модулі 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 розробляють технологічний модульний процес складання на виріб шляхом компонування та стикування послідовності необхідних технологічних і конструкційних модулів, які забезпечують якість модульного складання. Функція розробки: $TM_{II} \rightarrow \{TM_1, TM_2, \dots TM_c\}$. На етапі 8 формується потрібне технологічне модульне обладнання та оснащення підбором необхідних конструкційних модулів. Після встановлення параметрів і характеристик модульного обладнання та оснащення на етапі 9 остаточно коригують як технологічний модульний процес складання, так і окремі технологічні та конструкційні модулі.

Забезпечення гнучкості в модульних автоматизованих складальних системах з погляду системного підходу проводиться на технологічному, конструкційному та алгоритмічному рівнях. При цьому можуть враховуватися й інші рівні, що визначатимуть гнучкість, наприклад, організаційний. Для отримання кількісної оцінки гнучкості модульної системи автоматичного складання використаний оргграф і коефіцієнти пристосованості до окремих ознак деталей та особливостей протікання модульного процесу. На першому рівні оцінюється можливість гнучкого складання деталей різних класів і габаритних розмірів, на другому – пристосованість до форми базових поверхонь, на третьому – до орієнтуючих елементів, на четвертому – до елементів спряження, на п'ятому – до точності складання і на шостому – до зміни схеми відпрацювання складальних рухів. Коефіцієнти пристосованості визначаються з матриць, в яких рядки і стовпці відповідають степені пристосованості та оцінюються чисельними величинами коефіцієнтів. Коефіцієнти пристосованості можуть бути встановленими і за допомогою експертного методу. Для повноти оцінки передбачена можливість розширення рівнів оргграфа. Далі визначається усереднений коефіцієнт пристосованості.

З врахуванням взаємозв'язків і закономірностей між складальними елементами операції на основі теорії структур запропоновано новий підхід до формування типових структур технологічних модулів і модульних технологічних гнучких процесів складання виробів. Залежно від суміщення основних і допоміжних елементів одержано по три класи і групи модульних процесів і дев'ять підгруп. Одержано типові структури складальних модулів і технологічних модульних процесів автоматизованого гнучкого складання виробів при різному виконанні, котрі оцінюються оперативним часом та продуктивністю, змінюючись по діагоналі згори донизу. Сформовано 51 типову структуру та розроблено методику їх вибору на основі порівняння продуктивності структури з потрібною продуктивністю. Опрацьовано також 18 типових структур переналагодження. Конкуреноспроможні варіанти структур отримують за критерієм технологічної собівартості, встановлюють раціональну, яку детально оптимізують та розробляють.

Методика розроблення модульних технологічних процесів автоматизованого гнучкого складання виробів передбачає такі етапи: аналіз вхідних даних; формування груп автоматично складаних деталей, вузлів, виробів за їх конструкційно-технологічними ознаками з відпрацюванням технологічності конструкції за вимогами модульного складання; проведення розмірного аналізу конструкції складаного об'єкта; встановлення методів забезпечення заданої точності; виявлення необхідних складальних основних і допоміжних рухів, дій для об'єктів групи; вибір способу модульного складання; визначення діапазону переналагодження; встановлення способів модульного складання та переналагодження; вибір технологічних баз і схем базування для групи складаних об'єктів; розроблення технологічної схеми модульного гнучкого складання для групи з виділенням розчленованих складальних робіт, які характеризуються закінченістю, послідовністю та наближено однаковим часом складання; виявлення раціональної структури і компонування окремих технологічних модулів; наближене паралельне встановлення реалізуючого конструкційного модуля; уточнення схеми та структури переналагодження; вибір режимів модульного складання виробів; за необхідності побудова модульних комплектів, комплексів і технологічного модульного процесу складання загалом; оформлення технологічної документації. У випадку, коли вже є

номенклатура розроблених і відпрацьованих технологічних модулів, методика розроблення модульних процесів гнучкого складання виробів значно спрощується і зводиться до простого їх підбору за необхідними параметрами та стикуванням. З використанням розробленої методики проектування модульних процесів складання було одержано ряд конструкцій переналаджуваного модульного обладнання та оснащення, які від відомих відрізняються новизною та ефективністю.

Висновки. У результаті комплексних досліджень модульного автоматизованого гнучкого складального виробництва реалізований принципово новий напрямок в технології машинобудування – модульне автоматизоване гнучке складання виробів, яке забезпечує тісний взаємозв'язок між технологією, обладнанням і оснащенням шляхом формування технологічних модульних процесів з типових складальних модулів обмеженої номенклатури, що гарантує повне використання можливостей технологічних засобів в кожному модульному складальному процесі та підвищує його ефективність і ґрунтується на розроблених науково-технологічних основах такого виробництва.

1. Базров Б.М. *Модульная технология в машиностроении.* – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. 2. Григорова Н.С. *Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматизованого складання виробів: Монографія.* – Луцьк, Надстир'я, 2008. – 520 с.

УДК 621.8

В.А. Шабайкович

Луцький національний технічний університет

ПРОБЛЕМИ СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

© Шабайкович В.А., 2011

Зазначено основні причини відсталого стану теперішнього складального виробництва України. Вони знаходяться в технічній, організаційній, психологічній та юридичній площинах. Вказано шість основних напрямів розвитку комп'ютерно-інтегрованого складального виробництва, а також шляхи підвищення його ефективності, зокрема конкретних заходів для окремих галузей, підприємств, відділів чи робочих місць.

The article indicates principal reasons for the current condition for assembly production. It lies in the technical, organizational, psychological and legal plains. Six main directions for the development of computer-integrated assembly plant are indicated. Measures to raise production in particular assembly one on which to develop specific for measures for individual industries, enterprises, departments or workplaces.

Постановка проблеми. Завершальним етапом будь-якого виробництва, де формуються фактичні показники якості та рівень конкурентоспроможності виробів, є складання, яке має різні відмінності залежно від окреслених умов. Із забезпеченням таких показників і рівнів Україна має великі проблеми: за даними ООН серед 195 країн світу за рейтингом вона знаходиться на останніх місцях поряд зі слабкорозвиненими країнами Африки. Правда, деякий виняток становить продукція військової, авіаційної та космічної галузей.

Аналіз останніх досягнень. Розвиток складального виробництва ґрунтується на працях наукових шкіл Б.С. Балакшина, О.О. Гусева, В.С. Корсакова, М.С. Лебедовського, О.М. Малова, М.Д. Солодова, А.Н. Рабіновича, Г.А. Шаумяна, Б.Л. Штрикова і багатьох інших. Велике значення мали праці численних науково-дослідних і проектних інститутів і заводів. Значні успіхи були