

МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП В СТРУКТУРНІЙ ЕВОЛЮЦІЇ БАГАТОШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ

Красовський П.О., аспірант, Котлярова В.В., ст. викладач, Любарець А.П., студент, Шинкаренко В.Ф., професор

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Один з перспективних напрямів технічної еволюції мотор-шпинделів (М-Ш) безпосередньо пов'язаний з реалізацію їх багатшпиндельного виконання. Багатшпиндельні вузли використовуються на металообробних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) і спеціальних оброблювальних центрах для виконання координатно-розточних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних та інших технологічних операцій. Шпинделі можуть мати індивідуальний електропривод, або одноприводне виконання з різними типами багатшпиндельних головок або змінних насадок.

Багатшпиндельні електроагрегати металообробних верстатів забезпечують низку переваг, в тому числі: розширення функціональних можливостей за рахунок одночасного виконання декількох технологічних операцій; реалізацію модульного принципу виконання шпиндельного вузла; забезпечення поопераційної зміни типу, кількості і просторової схеми розташування різальних інструментів; автоматизацію технологічного процесу металообробки.

З точки зору генетичної таксономії, структурна різноманітність М-Ш належить до функціонального класу міжсистемних гібридів, які структурно і функціонально суміщають підсистеми різної генетичної природи. Ключова роль в структуроутворенні таких складних систем визначається їх енергетичним і генетичним ядром, функцію якого виконують високошвидкісні електричні двигуни асинхронного або синхронного типу. Ядро системи містить генетичну інформацію, через яку визначається фізична природа системи, її генетична програма і принципи структуроутворення. Наявність такого взаємозв'язку відкриває можливість аналізу і синтезу складних систем, виходячи з теоретичних положень генетичної еволюції електромеханічних систем (ЕМ-систем). Метою даного дослідження є експериментальне підтвердження достовірності генетичних моделей і методів генетичного синтезу модульних структур на прикладі технічної еволюції багатшпиндельних вузлів і агрегатів з безпосереднім електромеханічним приводом.

Модульний принцип є одним з ефективних напрямів структурно-функціональної оптимізації, стандартизації, уніфікації та дизайну технічних об'єктів [1, 2]. В методології проектування модульний підхід орієнтований на максимальне використання однотипних вузлів (або елементів), при створенні складних систем, в умовах сучасного автоматизованого виробництва. В теорії генетично організованих систем блочно-модульна організація є технічним результатом реалізації генетичних принципів реплікації і ізомерії. Реплікація (пізньолат. *replicatio* – повторення) – один з фундаментальних принципів генетичного структуроутворення, який реалізується через збільшення

(розмноження) кількісного складу генетично визначених структур, які забезпечують передачу спадкової інформації в ряду поколінь, від первинних елементів (батьківських хромосом) до багатоелементних об'єктів-нащадків.

В концепції генетичного структуроутворення, багатошпиндельні агрегати є результатом синтезу з домінуванням оператора реплікації R , який безпосередньо пов'язаний з утворенням відповідної ізомерної групи, відповідальної за варіанти просторових композицій багатоелементної структури в тривимірному просторі R^3

$$R(s) \rightarrow (s_1, s_2, \dots, s_n) \subset R^3 \quad (1)$$

За результатами еволюційного аналізу встановлено, що принцип реплікації в структуроутворенні М-Ш становить майже 40 %. Модульні багатошпиндельні агрегати можуть мати різні компоновальні схеми в R^3 , які визначають просторову орієнтацію і функціональні можливості робочих головок шпинделів (рис. 1):

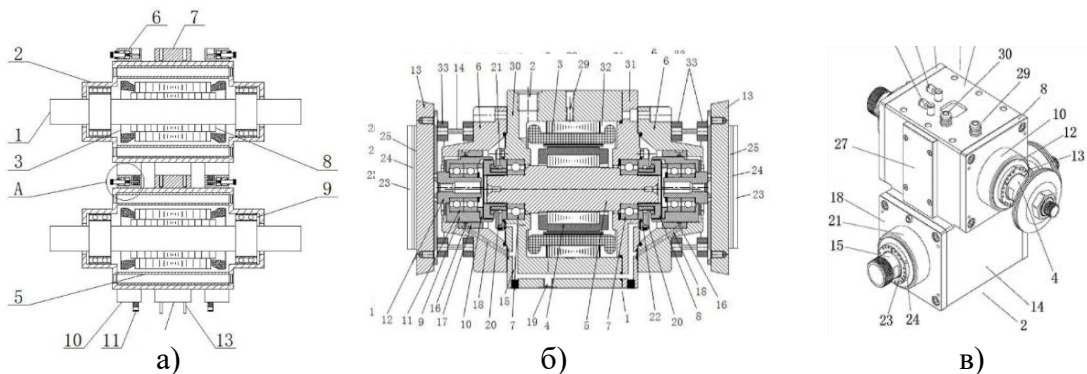


Рисунок 1 – Варіанти компоновальних схем двошпиндельних агрегатів модульного типу: а) – з паралельною кінематикою; б) – з аксіальною кінематикою; в) – з ортогональною кінематикою.

За результатами еволюційних експериментів встановлено, що домінуючим Видом в структурній еволюції електроприводу головного руху М-Ш для металообробних верстатів є Вид CL 0.2y Роду циліндричних, дольова частка структурних представників якого становить 90 %, порівняно з іншими Видами. Але в структуроутворенні систем головного електроприводу багатошпиндельних агрегатів можливо також застосування електромеханічних структур, які визначаються їх макрогенетичною програмою (зокрема, підгрупи 0.0y, 0.2y та 2.2y). Можливість їх технічної реалізації підтверджується результатами генетичного аналізу багатошпиндельних вузлів (рис. 2) [3].

Генетичний аналіз складних багатошпиндельних вузлів показує, що генетичні оператори реплікації R і ізомерії комбінуються з операторами схрещування (\times), мутації вторинної хромосоми $(M_R)_2$ та міжсистемної гібридизації з підсистемами іншої фізичної природи ($\times M_S$) – шпинделями, опорами, пристроями затиску інструменту, тощо.

$$а) (KN 0.2y)_1 \times 4(CL 0.2y)_2 : M_R: R_\beta \times M_S; \quad (2)$$

$$б) (PL 0.2y)_1 \times 2(CL 0.2y)_2 : M_R: R_{ZOY} \times M_S; \quad (3)$$

$$в) {}^3(PL\ 0.2y)_1 \times 3(CL\ 0.2y)_2: M_R: R_\beta \times M_S; \quad (4)$$

$$г) (CL\ 0.2y)_1 \times 4(CL\ 0.2y)_2: M_R: R_\beta \times M_S. \quad (5)$$

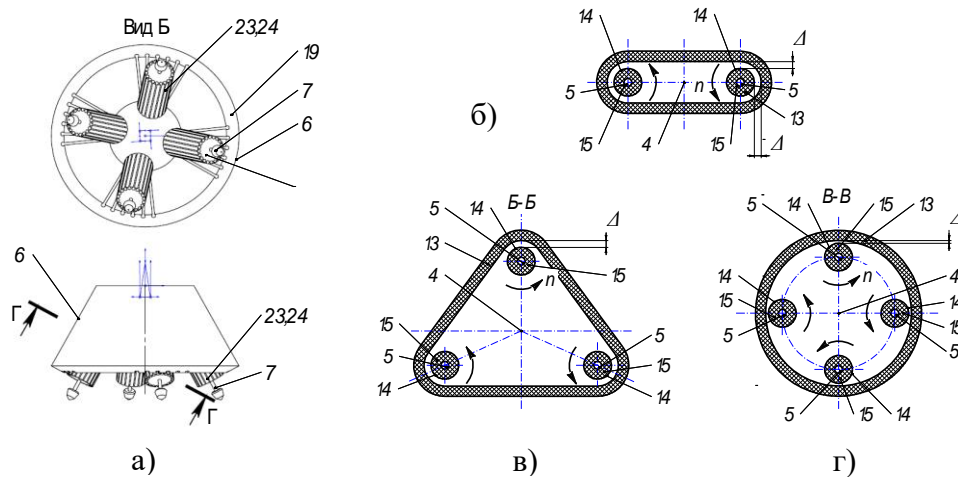


Рисунок 2 – Варіанти генетично синтезованих просторових модульних структур головного руху багатошпindelьних вузлів: а) – структурний представник Виду KN 0.2y; б) – представник Виду PL 0.2y; в) – представник Виду-близнюка 3PL 0.2y; г) – представник Виду ЦЛ 0.2y.

В умовах автоматизованого виробництва з цифровим управлінням шпindelьні вузли багатокоординатних верстатів забезпечуються пристроями автоматизованої зміни просторового положення і типу різального інструменту. Наприклад, в багатошпindelьному вузлі барабанного типу (рис. 3) елементарні шпindelі можуть переміщуватися незалежно один від одного по круговій траєкторії навколо центральної осі шпindelьної головки за програмою процесу технологічної обробки.

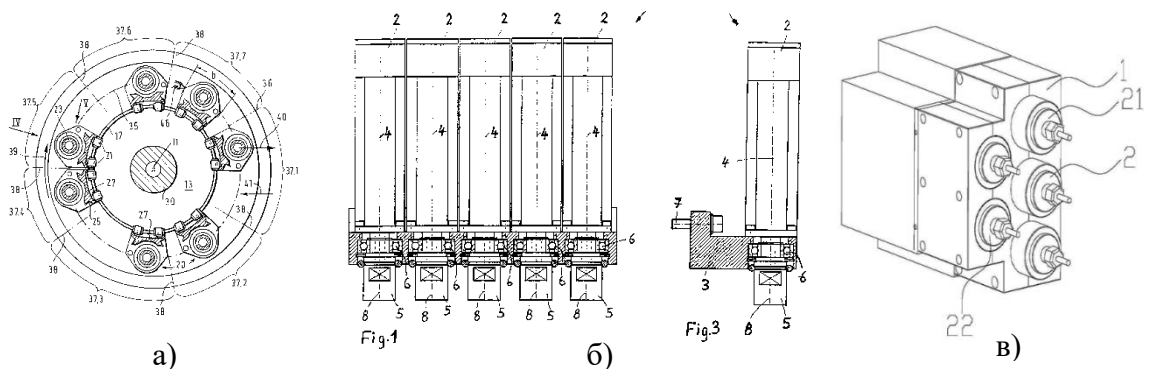


Рисунок 3 – Принципи реплікації і просторової ізомерії в структуроутворенні мотор-шпindelів: а) – багатошпindelьна головка барабанного типу; б, в) – варіанти просторового компонування приводних шпindelів модульного типу.

Аналіз структурної еволюції багатошпindelьних вузлів підтверджує їх генетичну природу і основну тенденцію – зростання складності та розширення їх функціональності (рис. 4).

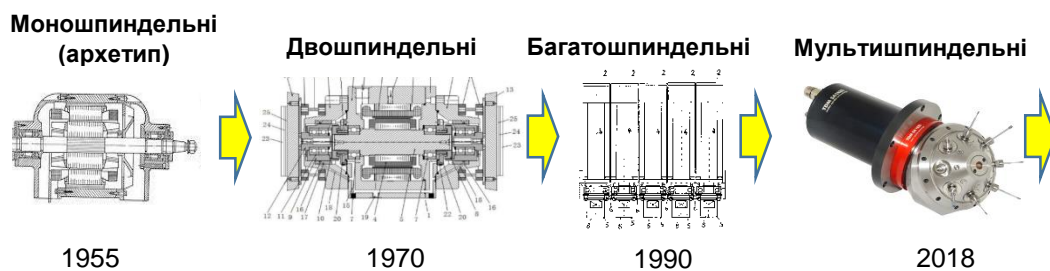


Рисунок 4 – Еволюція багатшпиндельних вузлів у металообробному верстатобудуванні

Сучасні багатшпиндельні агрегати належать до категорії інноваційних високотехнологічних продуктів, які задовольняють зростаючим вимогам автоматизованого виробництва. Спостерігається стійка тенденція створення інтелектуальних М-Ш, які здатні самостійно обмінюватися інформацією та реагувати на неї, керувати процесами промислового виробництва. Наприклад, шпиндельний вузол фірми TDM оснащений високомоментним електродвигуном головного руху (до 80 000 об/хв) і прецезійним двигуном приводу мультишпиндельної головки з програмованою системою зміни інструменту [4].

Результати дослідження структурної еволюції на прикладі складних багатшпиндельних вузлів підтверджують достовірність генетичних принципів їх модульного структуроутворення і коректність запропонованого підходу до аналізу і синтезу складних технічних систем на основі концепції домінуючого генетичного ядра системи.

Перелік посилань

1. V. Shynkarenko, A. Makki, V. Kotliarova and A. Shymanska, "Modular Principle in the Structural organization and Evolution of Electromechanical Objects," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019, pp. 162-165., doi: 10.1109/MEES.2019.8896446,

URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8896446&isnumber=8896362>

2. Красовський П.О., Котлярова В.В., Шинкаренко В.Ф. Модульний принцип в технічній еволюції об'єктів електромеханіки // [Електронний ресурс]: Статті та тези доповідей за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. – Київ: ФЕА КІІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С. 207-211. – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/254900> – Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики».

3. Пат. України № 110074. Багатшпиндельна електромеханічна головка / Кузнецов Ю.М., заявл.17.03.2016, № у 2016 02627, опубл. 26.09.2016, Бюл. № 18.

4. Мультиінструменти. Каталог фірми TDM. – Режим доступу: <http://www.tdmspindles.com/multitool.html>