

МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП В ТЕХНІЧНІЙ ЕВОЛЮЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Красовський П.О., аспірант, **Котлярова В.В.,** ст. викладач,
Шинкаренко В.Ф., д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Модульний принцип є одним з найбільш поширених і продуктивних механізмів структуроутворення, який широко представлений як в живій природі, так і в сучасних технічних системах. Модульна реалізація сьогодні широко використовується як один з ефективних напрямів структурно-функціональної оптимізації, стандартизації, уніфікації і дизайну технічних об'єктів. Модульний принцип представлений на всіх рівнях структурної організації технічних систем, що дозволяє скоротити термін освоєння нової техніки і забезпечити гнучкість керування зростаючою складністю об'єктів виробництва. Географія і напрями практичного використання систем модульного типу на даний час настільки масштабні, що дана тенденція узагальнюється експертами як «епоха панування модульних платформ і модульного дизайну» [1].

За результатами попередніх структурно-системних досліджень, виконаних на кафедрі електромеханіки КПІ ім. Ігоря Сікорського, вперше встановлено, що модульність є системною властивістю довільної генетично організованої системи, яка безпосередньо пов'язана із здатністю елементарних структур, через механізми реплікації, утворювати просторові ізомерні композиції. Вперше в технічних науках визначено генетичні програми структуроутворення, розроблено хромосомну теорію і методологію генетичного передбачення та синтезу модульних електромеханічних об'єктів (ЕМ-об'єктів) [2, 3].

Метою даного дослідження є узагальнення еволюційних експериментів, які необхідні для підтвердження достовірності хромосомної теорії генетичного структуроутворення і визначення тенденцій розвитку модульних ЕМ-об'єктів.

Результати дослідження. В генетично організованих системах процеси структуроутворення об'єктів моделюються на хромосомному рівні з використанням відповідної сукупності операторів генетичного синтезу. Генетичні оператори реплікації електромагнітних хромосом визначають процедури синтезу модульних структур-нащадків, які лежать в основі конструювання і проектного синтезу модульних електричних машин та електромеханічних пристроїв.

В задачах синтезу модульних об'єктів оператор реплікації може утворювати стійкі комбінації з іншими операторами, породжуючи відповідні класи структур-нащадків з гарантованим емерджентним ефектом (табл. 1).

Таблиця 1 – Стійкі комбінації генетичних операторів в алгоритмах синтезу модульних ЕМ-структур (фрагмент)

Комбінація генетичних операторів синтезу	Синтезовані структури-нащадки
$(Re \rightarrow Is)$	Просторові композиції ($K_i \subset R^3$) модульних структур
$(Re \rightarrow Cr \rightarrow Is)$	Групове симетрування $N = km$, ($k = 1, 2, \dots$) багатофазних несиметричних модулів
$(Hb \rightarrow Is)$	Модульні просторові композиції з гібридною структурою активної зони
$(Re \rightarrow Im \rightarrow Is)$ $(Re \rightarrow Ir \rightarrow Is)$	Просторові структурні композиції з регулярною електромагнітною або просторовою інверсією
$Mt (\leftrightarrow G_{CL} \leftrightarrow G_{PL} \leftrightarrow G_{TP} \leftrightarrow \dots)$	Модульні структури-трансформери (міжродові мутанти) зі змінною просторовою геометрією активної поверхні
$(Re \rightarrow Mt \rightarrow Is)$	Просторово розподілені модульні композиції з адаптивною геометрією і топологією активної поверхні

де: Re – оператор реплікації; Is – просторові ізомерні композиції; Hb – оператор гібридизації (схрещування); Cr – оператор кросингверу; Mt – оператор мутації; Ir – оператор просторової інверсії; Im – оператор магнітної інверсії; G_{CL} , G_{PL} , G_{TP} , ... – родова геометрія гомологічних хромосом.

В концепції хромосомної теорії структуроутворення, модульні ЕМ-системи належать до класу генетично визначених, структурна різноманітність і межі генетичної мінливості яких визначаються відповідними генетичними програмами. Методологічну основу структуроутворення модульних структур становлять результати системного аналізу генетичних програм ЕМ-об'єктів. Під генетичною програмою розуміється кінцева множина електромагнітних хромосом, які мають генетичну схильність до реалізації заданої функції і, спільно з генетичними принципами структуроутворення, визначають межі видоутворення і структурну різноманітність об'єктів-нащадків. В періодичній структурі генетичної класифікації максимальною генетичною схильністю до утворення модульних композицій об'єктного і системного рівнів наділені електромагнітні хромосоми, топологія яких визначається числами Бетті 1 і 0, а просторова геометрія характеризується нульовою гауссовою кривизною, що дозволяє локалізувати розмірність пошукового простору синтезу.

Взаємозв'язок генетичних принципів структуроутворення з реальними процесами розвитку модульних ЕМ-об'єктів підтверджується результатами порівняльного аналізу їх генетичних програм і еволюційних експериментів. Організація еволюційно-історичних і еволюційно-прогностичних експериментів здійснювалась за методологією [4]. Геномно-історична частина експериментів здійснювалися за результатами патентно-інформаційних досліджень, в межах

відомих функціональних класів модульних ЕМ-об'єктів (за сценарієм макроеволюції, що спостерігається) (рис. 1). Прикладами таких систем є модульні електромеханічні системи транспорту на магнітному підвісі, робототехнічні комплекси з реконфігурованими структурами, просторово розподілені модульні електромеханічні системи безтросових пасажирських ліфтів серії MULTI, електромеханічні системи розгалужених мереж 3D-конвейерів, мультимодульні системи роботизованих технологічних комплексів та оброблювальних центрів та ін. Розвиток космічної техніки і автономних роботизованих комплексів суттєво вплинули на інтенсивність досліджень і розробок просторово адаптивних модульних електромеханічних систем на основі електричних машин роду сферичних. Окремий перспективний напрям практичного використання ЕМ-об'єктів еластичної електромеханіки становлять індукторні системи магнітотерапевтичного обладнання і імплантовані штучні системи життєзабезпечення в медицині. В ході макроеволюційного експерименту (енергії за історичний період з 1845 по 2020 р.р.), через ідентифікацію генетичних кодів і відповідних генетичних операторів синтезу, було підтверджено достовірність генетичного походження більш ніж 80 модульних об'єктів – представників 14 функціональних класів електромеханічних перетворювачів (рис. 1).

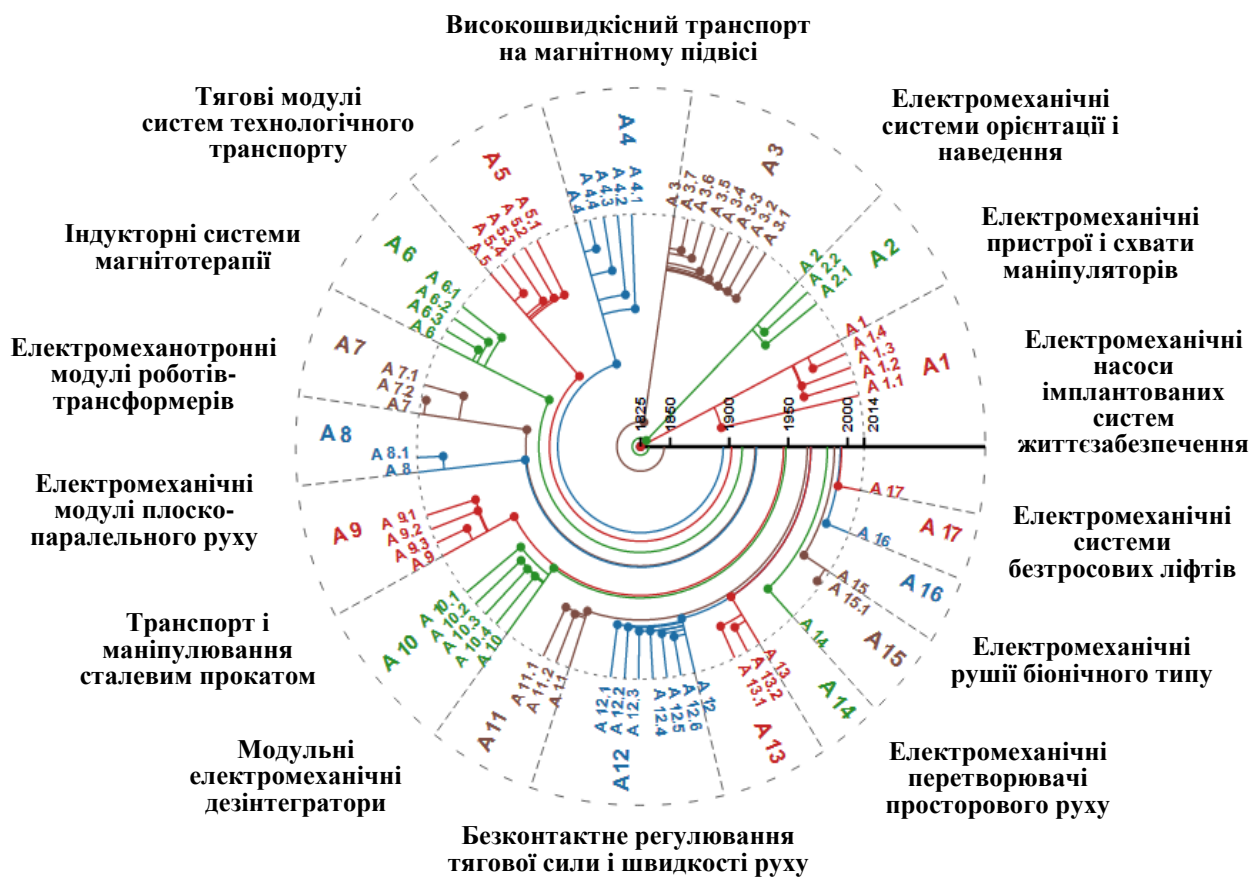
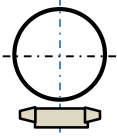
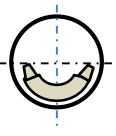
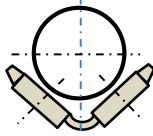
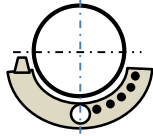
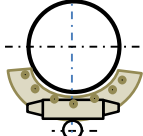


Рисунок 1 – Філогенетична діаграма макроеволюції функціональних класів модульних ЕМПЕ ($T_E = 175$ р.)

Постановка еволюційно-прогностичного експерименту була реалізована на прикладі модульного асинхронного електроприводу для транспортування сталевих труб великого діаметра. Особливість такого експерименту полягає в тому, що об'єктами експерименту стають лише ті технічні рішення, структури яких є результатом генетичного передбачення і синтезу з цілеспрямованим їх введенням в технічну еволюцію (сценарій керованої еволюції періоду 2010 – 2020 р.р.). Результати прогностичних експериментів підтверджують достовірність технології передбачення і визначають основну тенденцію генетичної еволюції модульних електричних машин – від простих одиничних однофункціональних модульних структур поступального руху (представники видів PL2.2x і CL2.2x) до складних багатфункціональних, просторово адаптивних модульних систем (гібридного типу і мутованих) зі змінною геометрією і структурою активної зони (табл. 2). Зазначена тенденція корелюється з загальним напрямом розвитку сучасних наукоємних технічних систем і технологій модульного типу.

Таблиця 2 – Генетична еволюція модульного лінійного асинхронного електроприводу в технологічних лініях транспортування і обробки сталевих труб великого діаметра

Час еволюції	1970 - 1975		1975 - 1980	2010	2020
Методологія синтезу	Евристична			Системно-генетична	
Компонувальна схема					
Генетичний код	$PL2.2x$	$CL2.2x$	${}^2PL2.2x$	$CL2.2(x \times y)$	$(PL \leftrightarrow CL)2.2y$
Генетичний статус електромагнітної хромосоми	$(PL)_1 \times (CL)_2$ (внутрішньо-видовий гібрид)	$(CL)_1 \times (CL)_2$	${}^*(PL)_1 \times (CL)_2$ (гібрид-ізопоп)	$(CL)_1 \times (CL)_2$ (електромагнітно-топологічний гібрид)	$(PL \leftrightarrow CL)_1 \times (CL)_2$ (міжродовий мутант)
Кількість керованих просторових рухів	1	1	1	3	6
Види просторового руху технологічного об'єкта	$\pm V_{ox}$	$\pm V_{ox}$	$\pm V_{ox}$	$\pm V_{ox}; \pm \omega_{ox};$ $\pm (V \times \omega)_{ox}$	$\pm V_{ox}; \pm V_{oy};$ $\pm \omega_{ox}; \pm$ $(V \times \omega)_{ox};$ $(V_{ox} \times V_{oy});$ $\pm \omega_{oz}$

Висновки. Результати еволюційних експериментів підтверджують, що модульний принцип є системним явищем в структурній організації електромеханічних систем і становить невід’ємну частину їх зрілої еволюції. Експериментально встановлено наявність детермінованих зв’язків між ізомерними композиціями реплікованих електромагнітних хромосом і електромеханічними об’єктами модульного типу, які виникли історично (геномно-історичні експерименти), а також вперше передбаченими і синтезованими на основі аналізу їх генетичних програм (геномно-прогностичні експерименти). Найбільш перспективний розвиток в епоху цифрових автоматизованих виробництв тримають технологічні і транспортні комплекси на основі просторово розподілених модульних електромеханічних систем з адаптивною геометрією і топологією активної поверхні. Результати дослідження створюють передумови для постановки і розв’язання широкого кола пошукових задач з можливістю передбачення і автоматизованого синтезу конкурентоздатних модульних структур ЕМ-об’єктів довільного рівня складності і переходу від концепції «еволюції, що спостерігається» до стратегії керованої адаптивної еволюції.

Перелік посилань

1. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ. – СПб., 2013. – 80 с.
2. V. Shynkarenko, A. Makki, A. Shymanska and V. Kotliarova, "Genetic Synthesis of Electromechanical Objects of the Modular Type," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019, pp. 166-169.
3. V. Shynkarenko, A. Makki, V. Kotliarova, A. Shymanska, P. Krasovskyi, "Genetic Organization and Evolution of Electromechanical Objects with Adaptive Geometry of Active Zone," Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J. 5(5), 2020, p.p. 512-525.
4. Shynkarenko V.F., Shvedchikova I.A., Kotlyarova V.V. Evolutionary Experiments in Genetic Electromechanics. 13 th Anniversary International scientific Conference «Unitech’13», 22 – 23 November 2013. Gabrovo, Bulgaria. Vol. III, 2013. – P.p. 289 – 294.