

РОЗДІЛ IV. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-2(28)-111-126

УДК 621.313

Василь Шинкаренко¹, Вікторія Котлярова², Євген Монахов³, Павло Красовський⁴

¹доктор технічних наук, професор, професор кафедри електромеханіки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: svf1102@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5054-823X>
ResearcherID: [AAK-3777-2020](https://orcid.org/0000-0002-5054-823X). SCOPUS Author ID: [7005550726](https://orcid.org/0000-0002-5054-823X)

²старший викладач кафедри електромеханіки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: sharik_2004@ukr.net. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4182-4175>
ResearcherID: [AAK-3782-2020](https://orcid.org/0000-0002-4182-4175). SCOPUS Author ID: [57202578038](https://orcid.org/0000-0002-4182-4175)

³кандидат технічних наук, директор НДДКР
Чжуцзи Хейст Моторс ТОВ (Чжуцзи, Китай)
E-mail: emonachov@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8408-8051>
ResearcherID: [AAK-3885-2020](https://orcid.org/0000-0001-8408-8051). SCOPUS Author ID: [57191825945](https://orcid.org/0000-0001-8408-8051)

⁴аспірант кафедри електромеханіки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: krasovskypav@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4757-9879>
SCOPUS Author ID: [57219491120](https://orcid.org/0000-0002-4757-9879)

СТРУКТУРНІ МУТАЦІЇ В АДАПТИВНІЙ ЕВОЛЮЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Проаналізовано системність явища мутагенезу – одного з найменше дослідженого й найбільш продуктивного процесу структуроутворення в еволюції генетично організованих систем природного і антропогенного походження. Досліджено ізоморфізми поняття мутацій у системах різної генетичної природи. Узагальнено наукові положення хромосомної теорії спадковості об'єктів електромеханіки. Проаналізовано напрями та приклади практичного використання хромосомних мутацій у просторово-адаптивному структуроутворенні об'єктів електромеханіки й визначено їхнє особливе значення в стратегії генетичного передбачення і контрольованої генетичної коеволуції людини, природи і техніки.

Ключові слова: електромеханічні об'єкти; генетична еволюція; системні ізоморфізми; електромагнітна хромосома; генетичний код; хромосомна теорія структуроутворення; хромосомна мутація; адаптація.

Табл.: 3. Рис.: 8. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. Вагомим досягненням науки новітнього періоду стало усвідомлення того, що фундаментальні принципи спадковості й закони генетичної еволюції не обмежуються лише біологічними системами, а мають загальносистемний характер. Структурна різноманітність і еволюція генетично організованих систем (ГОС) різної фізичної природи, спектр яких простягається від систем космічного масштабу, через хімічні й біологічні, до соціальних і антропогенних систем, визначаються через відповідний структурно-інформаційний базис і фундаментальні принципи генетичної спадковості [1-6].

Постановка проблеми. З плином часу біологічна еволюція дедалі більшою мірою інтегрується з технічною еволюцією, яка стає однією з головних рушійних сил. Тому майбутнє співіснування природи, людини і техніки можливе лише за умови пізнання та гармонізації їхніх генетичних програм, які визначаються методами генетичного аналізу. Ключову роль у генетичному структуроутворенні систем зі спадковістю відіграють генно-хромосомні мутації, які виступають ефективним інструментом структурно-інформаційної адаптації генотипу до мінливих вимог і факторів впливу зовнішнього середовища (фенотипу).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мутація (від лат. *mutatio* – зміна) належить до фундаментальних явищ, які визначають спадкову мінливість структур, відповідальних за зберігання і передачу генетичної інформації. Усі без винятку системи в процесі еволюції схильні до зміни власної генетичної програми шляхом мутацій. Тому в сучасній науці поняття мутації вийшло за межі біології і є об'єктом досліджень у фізиці (альфа-розпад, бета-розпад, процеси ділення ядра і синтез ядер), лінгвістиці (мовний мутагенез), теорії музики, математиці (топологія вузлів, альтернативні алгебри), обчислювальній техніці, архітектурі, соціології і політології, керуванні проектами та в інших наукових дисциплінах [7-13]. Через ізоморфізм мутацій теоретики генно-культурної еволюції пояснюють процеси породження інновацій і психологію творчості [2; 12]. Системні принципи мутагенезу ізоморфно також пов'язані з механізмами виникнення емерджентності, теорією процесів біфуркації в синергетиці, теорією хаосу («ефект метелика», атрактори Лоренца), фізичними явищами турбулентності та дифузії. Тому види мутацій, спектр ознак і механізми їх виникнення визначаються фізичною природою відповідного елементно-інформаційного базису ГОС.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. З огляду на системність і ключову роль процесів мутагенезу, одним із важливих напрямів досліджень є пізнання взаємопов'язаних еволюційних процесів генетичного структуроутворення і механізмів мутаційної спадкової мінливості об'єктів техніки, що відкриває шлях до стратегії генетичного передбачення і контрольованої коеволуції людини, природи й техніки.

Мета дослідження. Ця робота присвячена системному аналізу хромосомних мутацій – одного з найбільш продуктивних і найменш досліджених процесів в інноваційному структуроутворенні й еволюції електромеханічних об'єктів (ЕМ-об'єктів).

Виклад основного матеріалу. Основні положення хромосомної теорії спадковості об'єктів електромеханіки. Теоретичним базисом у дослідженні процесів еволюційного мутагенезу є теорія елементарних структур певної фізичної природи. «...У сучасній фізиці передбачається, що множина елементарних форм і функцій матерії обмежена, а нові форми і функції з'являються лише в результаті комбінацій і перетворень базисних форм і функцій» [14]. Тому теорія структур хромосомного рівня є ключовою і невід'ємною складовою еволюційної парадигми ГОС довільної фізичної природи. Як відомо, основні наукові положення хромосомної теорії вперше були сформульовані в біології у 1915 р., а у 1933 р. американський біолог Томас Морган отримав Нобелівську премію з фізіології і медицини за відкриття, пов'язані з роллю біологічних хромосом у спадковості [15].

У технічних науках основи хромосомної теорії і поняття електромагнітних хромосом (Е-хромосом), як необхідного рівня в теорії генетичної еволюції електромеханічних систем (ЕМ-систем), були розроблені лише через 87 років після біологічної [4]. Відкриттям генетичної класифікації (ГК) первинних джерел електромагнітного поля підтверджено, що електромеханічні перетворювачі енергії (ЕМПЕ) еволюціонують відповідно із системними принципами ГОС. У загальному випадку, під хромосомою розуміється елементарний генетично визначений носій генів, в ієрархії рівнів структурної організації систем зі спадковістю. У теорії генетичного структуроутворення поняттю Е-хромосоми ставиться у відповідність первинне джерело електромагнітного поля, генетична інформація якого однозначно визначається його положенням у періодичній структурі ГК [16]. Первинне джерело поля є носієм упорядкованої сукупності електричних зарядів (електромагнітних генів). Положення та інваріантні властивості довільного первинного джерела поля у структурі ГК визначаються його унікальною генетичною інформацією, яка представлена універсальним генетичним кодом. Тому довільна хромосома визначає просторову геометрію, групу електромагнітної симетрії і топологічні властивості (зв'язність та орієнтова-

ність) структур-нащадків. Структурно-інформаційний базис ГК, який представлений первинними джерелами електромагнітного поля, виконує роль вихідних структур у задачах генетичного аналізу й синтезу спадкових структур вищих рівнів складності.

Електромагнітні, топологічні й геометричні властивості Е-хромосом визначаються загальносистемними принципами збереження електричного заряду, електромагнітної симетрії і топології. Високоупорядкована множина Е-хромосом предметної області ГК виконує функцію глобальної макрогенетичної програми структуроутворення довільних Видів, Родів і функціональних класів ЕМ-об'єктів. Поняття Е-хромосоми ізоморфно поняттям біологічної хромосоми, хімічного елемента, музичного звуку, натурального числа, літері алфавіту та ін. За універсальним генетичним кодом Е-хромосоми визначаються: координати її місцеположення в періодичній структурі ГК; родова належність; інваріантна генетична інформація (генетичний код) Виду; генетична структура активних частин ЕМ-об'єктів-нащадків; генетична схильність хромосоми; структура малого періоду; структура підгрупи й відповідного горизонтального гомологічного ряду; гранична родова геометрія структур-нащадків; генетичний код парної хромосоми; гранична геометрія, топологія і симетрія хромосом-ізопопів та інші інваріантні властивості.

Генетична інформація довільної Е-хромосоми задовольняє принципу збереження і є інваріантною відносно часу еволюції об'єктів-нащадків, рівня їхньої структурної складності і функціонального призначення (рис. 1).

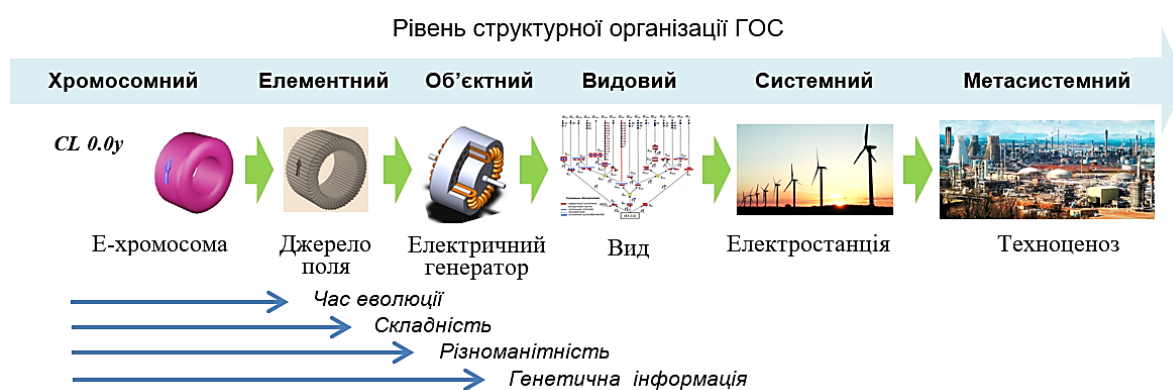


Рис. 1. Ієрархія рівнів структурно-інформаційної складності в генетично організованих системах (на прикладі електромеханічних)

Тому вся різноманітність історично створених ЕМ-об'єктів розпізнається через генетичні коди відповідних хромосом ГК.

В ієрархії взаємопов'язаних рівнів структурно-інформаційної складності ГОС, хромосомний рівень відіграє ключову роль у процесах спадкового структуроутворення.

Класифікація електромагнітних хромосом. Функцію системного носія високоупорядкованої інформації стосовно різноманітності Е-хромосом виконує ГК первинних джерел електромагнітного поля. Фундаментальність поняття Е-хромосоми і її інваріантні властивості визначаються принципами збереження електромагнітної структури й генетичної інформації. Принципи збереження визначають детермінований структурно-інформаційний зв'язок довільної Е-хромосоми зі структурою груп і періодів ГК і універсальним генетичним кодом, таксономічними категоріями Родів і Видів та структурною різноманітністю ЕМ-об'єктів-нащадків, що зумовлює необхідність класифікації її основних понять і тлумачень. Різноманітність смислових дефініцій Е-хромосом розпізнається:

- за місцеположенням Е-хромосоми в періодичній структурі ГК і класифікаційною належністю – базові, парні, гомологічні, хромосоми-ізотопи;
- за рівнем генетичної складності – батьківські, синтезовані (Е-хромосоми першого, другого, *n*-го рівня складності);

- за ознакою репродуктивності – інформаційні, породжувальні;
- за генетичним статусом – гомологічні, парні, репліковані, гібридні, інверсні, мутовані;
- за динамічними властивостями – нерухомі (статичні), рухомі (динамічні);
- за родовою приналежністю – циліндричні, конічні, плоскі, тороїдальні плоскі, сферичні, тороїдальні циліндричні, спіральні, гвинтові;
- за групою електромагнітної симетрії – електромагнітно симетричні (E-хромосоми групи 0.0), дисиметричні (підгрупи 0.2y і 2.0x), асиметричні (групи 2.2);
- за топологічними властивостями – замкнені (без краю), розімкнені (з краями), односторонні, двосторонні, орієнтовані, неорієнтовані;
- за відповідністю хромосоми структурним еквівалентам первинної частини і вторинної частин ЕМПЕ – первинні, вторинні.

Залежно від типу завдань досліджень, для позначення E-хромосом можуть використовуватися різні способи їх подання: кодове, символічне, графічне або змішане.

Хромосомна теорія становить теоретичний базис теорії генетичної еволюції ГОС. Теорія електромагнітних хромосом стала науковим фундаментом для розробки: геносистематики ЕМПЕ, генетичних програм структуроутворення, методології синтезу і аналізу електромеханічних структур (ЕМ-структур), технології генетичного передбачення, наукового обґрунтування генетичної природи видоутворення ЕМ-об'єктів близнюків і двійників, розробки теорії гібридних ЕМ-структур, методології генетичного синтезу структур модульного типу та ін.

Структурні мутації. Мутації в техніці – створювані штучно (індуковані) стійкі порушення генетично визначених структур, відповідальних за збереження і передачу генетичної інформації в ряду поколінь. Якщо в біології мутації розглядаються як основне й фактично єдине джерело адаптивної еволюції, то в теорії генетичного структуроутворення ЕМ-структур, мутація – один із п'яти принципів хромосомного структуроутворення, який визначає межі існування і генетично допустиму різноманітність мутованих об'єктів-нащадків. Структурні мутації в процесі синтезу реалізуються в комбінаціях з операторами реплікації, схрещування, кросинговеру та інверсії. За участю механізмів структурних мутацій змінюється генетична інформація, яка, за рахунок порушення класичних принципів електромеханічного перетворення енергії, забезпечує відповідні емерджентні властивості об'єкта в конкурентній боротьбі. Кінцева мета довільної мутації – структурно-функціональна адаптація об'єкта до вимог фенотипу.

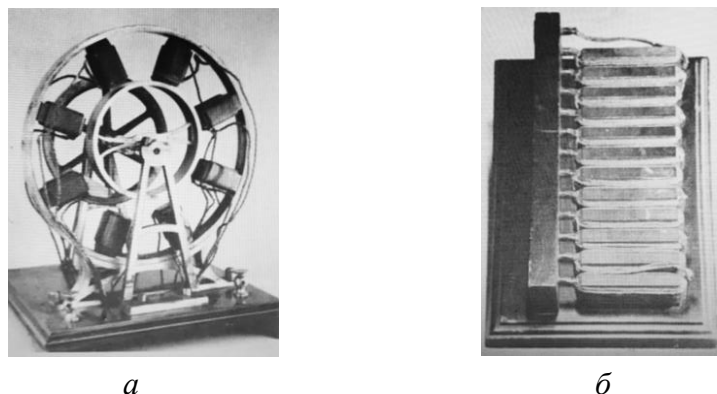
Структурна організація довільних функціональних класів ЕМ-систем представлена ієрархічною послідовністю рівнів генетичної складності: хромосомним (Ch); об'єктним (Ob); видовим (Sp); системним (Gn) та метасистемним (Mt). Генетичний аналіз і результати геномно-еволюційних експериментів засвідчують, що найбільшою універсальністю наділені принципи структурної мутації і гібридизації (схрещування), які задіяні на всіх рівнях складності ЕМ-об'єктів (табл. 1).

Таблиця 1 – Взаємозв'язок генетичних принципів структуроутворення з рівнями структурної складності ЕМ-об'єктів

Генетичний оператор	Рівень структурної організації				
	Ch	Ob	Sp	Gn	Mt
Реплікація (R)	+	+	–	–	–
Схрещування (S)	+	+	+	+	+
Інверсія (I)	+	+	–	–	–
Кросинговер (C)	+	+	–	–	–
Мутація (M)	+	+	+	+	+

На відміну від мутацій біологічного типу, структурні мутації в еволюції об'єктів техніки, з урахуванням жорстких вимог конкурентного відбору, орієнтовані на забезпечення лише корисної функції, тому властиві їм порушення генетичної структури мають бути скомпенсовані відповідним емерджентним ефектом. Наявність такого співвідношення гарантує стійку спадковість мутацій у конкурентній еволюції поколінь техніки.

Поява перших електричних машин-мутантів у першій половині XIX століття, безпосередньо пов'язана з діяльністю відомого англійського фізика й винахідника Чарльза Уїтстона, соратника Фарадея і Ерстеда (рис. 2) [17].



*Рис. 2. Перші електричні машини-мутанти (Ч. Уїтстон, Англія):
а – електромагнітний двигун з ексцентриковим ротором (1840);
б – плоский статор двигуна для електромагнітного транспортування
сталевих циліндричних поковок (1845)*

У генетичній еволюції об'єктів електромеханіки, плоский двигун із рухомих магнітним полем Ч. Уїтстона виконує функцію архетипів щодо Роду плоских електричних машин, функціонального класу двигунів з ротором, що котиться (ДРК), ЕМ-систем для безпосереднього здійснення технологічних процесів, а також є першим представником класу внутрішньовидових гібридних ЕМ-структур – мутантів.

Функціонально двигун забезпечував електромагнітне транспортування циліндричних сталевих поковок, які виконували функцію ротора. З погляду генетичної еволюції, двигун Уїтстона є архетипом Роду плоских електричних машин поступального руху, першим об'єктом Виду $PL\ 2.2x$ і архетипом функціонального класу генетично мутованих електричних машин із ротором, що котиться. За результатами генетичного аналізу встановлено, що структура двигуна Уїтстона відповідає статусу внутрішньовидового мутованого гібрида $(PL\ 2.2x)_1 \times [(CL\ 0.2y):M]_2$. Наступна еволюційна подія (технічна реалізація двигуна Виду $(CL\ 0.2y)_1 \times [(CL\ 0.2y):M]_2$) відбулася лише через 100 років, після чого еволюція функціонального класу ДРК набула стійкого прогресивного характеру (рис. 3).

З погляду принципів електромеханічної взаємодії, представники класу ДРК порушують всі класичні вимоги до процесу оптимального електромеханічного перетворення енергії та режиму функціонування (несиметричне магнітне поле збудження, наявність суттєвого ексцентриситету ротора, нерівномірний повітряний зазор, некомпенсовані динамічні сили інерції, наявність механічного контакту між статором і ротором). Емерджентний ефект таких двигунів полягає в суміщенні функції двигуна з електромагнітним способом редукції швидкості і моменту, що забезпечує їх тривалу еволюцію, незважаючи на наявність суттєвих «порушень» класичних принципів електромеханічного перетворення енергії. У 2012 р., з використанням методології генетичного аналізу, було вперше здійснено розшифрування макрогенетичної програми функціонального класу, розроблено його геносистематику та створено генетичний банк з можливістю передбачення нових Видів і структур ДРК [18].

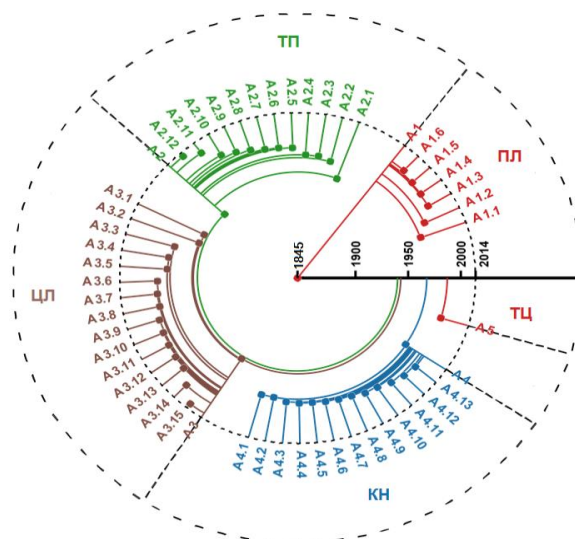


Рис. 3. Макрогенетична еволюція видової різноманітності функціонального класу ДРК ($T_E = 156$ років)

Ізоморфізм структурних мутацій у сучасній різноманітності технічних об’єктів досить широкий і залишається практично недослідженим. Прикладами мутованих об’єктів у технічній механіці є передачі типу «кардан» і «гнучкий вал», просторово адаптивні опори, шарнірні механізми і адаптивні підшипники, об’єкти «еластичної» механіки та ін. Результатами генетичного аналізу встановлено, що структурними еквівалентами хромосомних мутацій в ЕМ-об’єктах виступають порушення просторової або електромагнітної симетрії активних поверхонь, їх оптимальних геометричних співвідношень і пропорцій, відносної просторової орієнтації, взаємного положення або перекриття основних активних частин та ін. Переважна більшість зазначених структурних аномалій, які зберігаються та успадковуються багатьма поколіннями об’єктів електромеханіки, безпосередньо пов’язана із забезпеченням їхньої основної функції. Саме такими властивостями наділені окремі різновиди однофазних двигунів, електричні машини поступального руху, електромеханічні дезінтегратори (ЕМД), електромагнітні та електродинамічні сепаратори, самогальмівні двигуни роду конічних, двигуни і трансформатори з поворотним статором, багатостепеневі, багатоторні й багатостаторні електричні машини та ін.

Структурні аномалії можуть бути застосовані до будь-якої активної частини об’єкта (обмоток, полюсів, магнітопроводів) або об’єкта загалом (рис. 4).



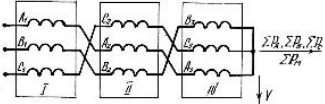

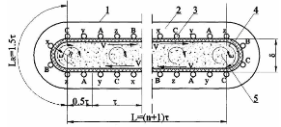
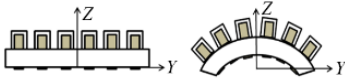
Рис. 4. Приклади мутацій зубцево-пазової структури активних частин ЕМ-об’єктів

Часткові мутації призводять до зміни окремих властивостей або функцій, а тотальні змінюють саму суть об’єкта, кардинально впливаючи на принципи його функціонування і способи технічної реалізації

Генетичне моделювання дозволяє визначити й синтезувати структурні мутації на хромосомному рівні. Структури мутованих Е-хромосом моделюються в комбінаторному просторі двох або більшої кількості генетичних операторів, які визначають рівень структурно-інформаційної складності й забезпечують необхідні адаптивні властивості ЕМ-

структури із заданою цільовою функцією. Кожній стійкій комбінації генетичних операторів, через відповідну групу математичних перетворень, ставиться у відповідність певний тип структурної організації об'єкта, який визначає генотип об'єктів-нащадків із відповідними функціональними й емерджентними властивостями (табл. 2).

Таблиця 2 – Приклади стійких комбінацій E-хромосом за участю оператора мутації (M) в адаптивно-функціональній еволюції EM-об'єктів (фрагмент генетичного банку даних)

Хромосомна комбінація*	Структурний еквівалент	Приклад з технічної еволюції
$(R \rightarrow M \rightarrow I_R)_2$ $(I_E)_1 \times (R \rightarrow M \rightarrow I_R)_2$	Просторові багатоелементні (модульні) композиції ($K_i \subset R^3$); Багатороторні електродвигуни з інверсією магнітного поля	
$(R \rightarrow C)_1 \rightarrow (M)_2$	Групова симетризація фазних параметрів $N = km, (k = 1, 2, \dots)$, транспозиція	
$(R)_1 \rightarrow (M)_2$ $(R)_1 \times (M \rightarrow R)_2$	Тягові модульні EM-системи; Лінійні прискорювачі, рейкотрони; Електромагнітний транспорт (орієнтування) деталей	
$(M \rightarrow S)_2$ $(R \rightarrow M \rightarrow S)_2$	ДРК, Гібридні мотор-планетарні редуктори	
$(I_E)_1 \rightarrow (M \rightarrow R)_2$ $(R \rightarrow I_E)_1 \times (M \rightarrow R)_2$	ЕМД, Електромагнітні і електродинамічні сепаратори	
$(M_{S1} \rightarrow M_{S2} \rightarrow \dots)_1 \times (S)_2$	EM-модулі – трансформери зі змінною просторовою геометрією активної поверхні	
$R (M_{S1} \rightarrow M_{S2} \rightarrow \dots)_1 \times S(M)_2$	Просторово розподілені модульні EM-системи зі змінною просторовою геометрією і топологією активної поверхні	

*Індексми 1, 2 позначено первинні (батьківські) і вторинні електромагнітні хромосоми відповідно.

Хромосомно-еволюційний детермінізм за участю структурних мутацій (табл. 2) становить системну основу для створення генетичних банків даних, інформаційних баз даних і баз знань, розробки алгоритмів автоматизованого пошукового синтезу EM-об'єктів з заданими адаптивними властивостями.

Магнітні мутації. Як відомо, вид мутацій в ГОС і механізми їх можливих варіацій визначаються фізичною природою мутагенів. Мутагенами називаються чинники, які викликають мутації. Мутагени можуть мати біологічне, фізичне, хімічне, соціальне, або антропогенне походження. До фізичних мутагенів належать і електромагнітні поля, структура яких в EM-об'єктах, теж може бути об'єктом мутацій. Способи порушення електричної або магнітної симетрії магнітного поля, шляхом відповідного комбінування електромагнітних параметрів, узагальнюються поняттям магнітних мутацій. В EM-системах магнітні мутації безпосередньо пов'язані з локальними аномаліями структури магнітного поля. Магнітні мутації реалізуються різними способами з метою забезпечення функціональної адаптації генетичної структури EM-об'єктів до фенотипічних вимог їх функціонування.

До мутацій магнітного типу належать:

- способи утворення локальної асиметрії магнітного поля (із застосуванням короткозамкнених витків, локальної зміни магнітного опору, та ін.) в однофазних двигунах;
- способи утворення асиметричного обертового поля з явно вираженою локалізованою амплітудою індукції, з метою забезпечення максимальної сили одностороннього тяжіння між статором і ротором в ДРК. Локальна асиметрія результуючого поля здійснюється шляхом суперпозиції двополюсного періодичного змінного поля зі складовою магнітного поля постійного струму, або суперпозицією дво- і чотириполюсного магнітних полів;
- способи локалізації магнітної індукції в шківних магнітних сепараторах обертового типу з магнітоелектричним збудженням;
- нетрадиційні способи отримання інверсних магнітних полів в однообмоткових ЕМД для безпосереднього здійснення технологічних процесів тощо.

Для прикладу розглянемо процес адаптації структури однообмоткового індуктора, який є представником Виду плоских ЕМПЕ з генетичним кодом PL 2.0x, до реалізації функції ЕМД, які в свою чергу призначені для виробництва високоякісних гомогенних порошкових сумішей нанорозмірного діапазону. Принцип дії представників цього функціонального класу оснований на перетворенні енергії інверсних рухомих (або обертових) магнітних полів у механічну енергію вихрового (6-ступеневого) руху дискретних феромагнітних частинок, які виконують функцію робочих тіл. Технологічний процес здійснюється безпосередньо в активній зоні дезінтегратора. Суттєва різниця у співвідношенні площ активних поверхонь і просторової геометрії первинної і вторинної частин ЕМД свідчить про належність ЕМД до класу ЕМ-об'єктів, функціонування яких можливе лише за умов наявності мутованої і дискретної структури вторинних робочих тіл. Але батьківська електромагнітна хромосома PL 2.0x, структурним еквівалентом якої є розподілена трифазна обмотка кільцевого типу, не належить до генетичної програми функціонального класу однообмоткових ЕМД, оскільки не забезпечує інверсію рухомих магнітних полів. Результати генетичного моделювання показують, що ця проблема вирішується використанням оператора реплікації магнітної системи індуктора (двопакетний магнітопровід) та застосуванням комбінованої мутації його кільцевої обмотки шляхом:

1) просторової деформації: поздовжнього зсуву активних частин секцій обмотки на кут $\alpha = \arctg \delta/\tau$, де δ – міжіндукторний немагнітний зазор, τ – довжина полюсного поділу (структурна мутація M_{OX});

2) зміни порядку чергувань фазних зон одного з індукторів на циклічну послідовність A-z-B-z-A-z-B-z-A-... (магнітна мутація M_V).

Зазначеним умовам функціонування відповідає синтезована хромосома C_{612} , генетична інформація якої задовольняє вимогам інтегральної функції синтезу, а її структурна формула набуває вигляду

$$C_{612} = [(PL\ 2.0x):M_{OX}:M_V]_1 \times [(ЦЛ\ 2.2x):R_n:M]_2 \subset S_{PL20x} \quad (1)$$

Породжувальній хромосомі C_{612} ставиться у відповідність структура ЕМД, яка задовольняє інтегральній сукупності вимог його функціонування (рис. 5).

Мутації магнітного типу виконують адаптивну функцію і в комбінації з іншими генетичними операторами синтезу можуть утворювати неочікувані електромагнітні ефекти та структурні варіації, виступаючи джерелом синтезу нетрадиційних структур і оригінальних технічних рішень.

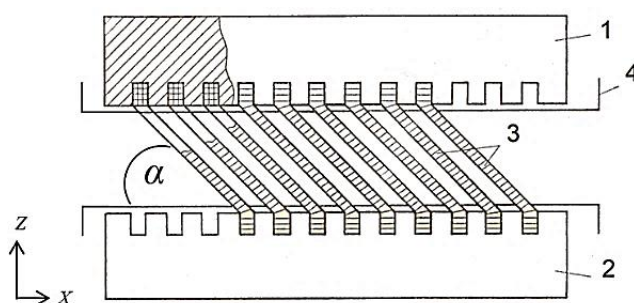


Рис. 5. Синтезована структура однообмоткового ЕМД (хромосома C_{612}) зі структурно-магнітною мутацією активної зони:
 1, 2 – пакети плоских магнітопроводів,
 3 – кільцева розподілена обмотка, 4 – робоча камера

Генетичне передбачення і синтез міжродових мутацій. Одна із сучасних тенденцій у розвитку мобільних технічних систем пов’язана з переходом від класичних жорстких форм і моноструктур до просторово розподілених структур з адаптивною просторовою геометрією і топологією, функціонування яких максимально наближено до природних аналогів. Аналіз функціонально-технічної еволюції ЕМПЕ свідчить, що на даний час існує велика різноманітність електричних машин і електромеханічних пристроїв, функціонування яких безпосередньо пов’язано зі зміною структури і геометрії їхньої активної зони як у просторі, так і в часі. У концепції структурно-системного підходу зазначені ЕМ-об’єкти належать до класу генетично мутованих, різноманітність яких визначається відповідними генетичними програмами, а їх функціональна еволюція вже триває протягом 75 років (рис. 6).

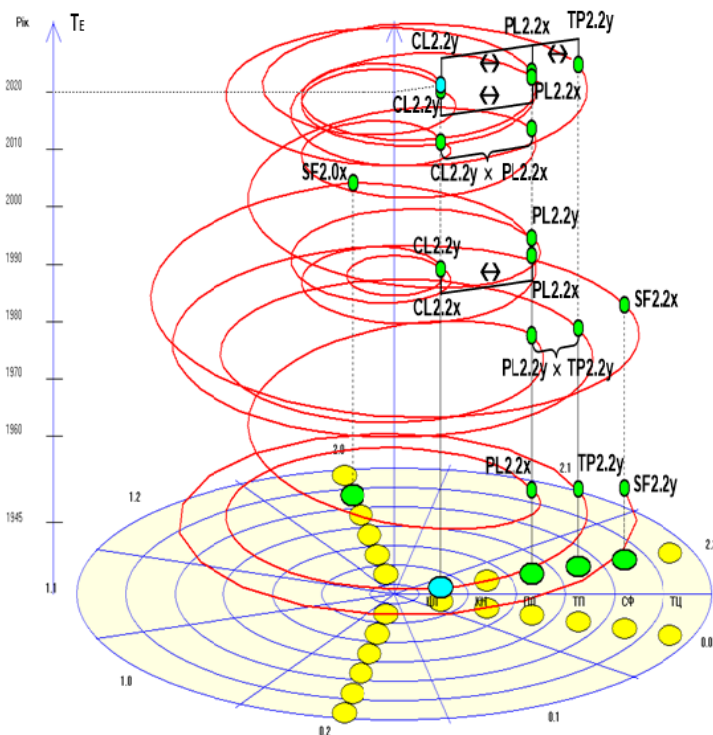


Рис. 6. Генетична еволюція ЕМПЕ з просторовими мутаціями активної зони ($T_E = 75$ років)

За результатами аналізу генетичних програм структуроутворення об'єктів просторово адаптивної електромеханіки, авторами відкрито новий механізм структурних мутацій, який відповідає статусу мутацій міжродового і міжвидового рівнів. В основі топологічної інваріантності різних класів множин матричних просторів лежить теорема Лаврентьєва-Зорича про глобальний гомеоморфізм [19]. Математичну основу такого виду мутацій становить груповий гомеоморфізм Е-хромосом, який визначає інваріантні властивості елементно-інформаційного базису відповідних підгруп періодичної структури ГК.

Принцип міжродової мутації пов'язаний зі зміною лише першої складової генетичного коду гомологічної Е-хромосоми, що вказує на відповідну зміну родової належності ЕМ-структури, породжуючи послідовність структур з варіативною просторовою геометрією, у межах топологічного простору відповідної підгрупи R^T :

$$M_G \rightarrow (S_{M1}, S_{M2}, \dots, S_{Mn}) \subset R^T. \quad (2)$$

Найвищим рівнем просторової адаптивності наділені електромагнітно несиметричні хромосоми підгруп $2.2x$ і $2.2y$. Наприклад, у межах підгрупи $2.2y$ просторова геометрія Е-хромосом пов'язана відношенням групового гомеоморфізму в евклідовому просторі R^3 :

$$H_{22y} = (CL2.2y \leftrightarrow KN2.2y \leftrightarrow PL2.2y \leftrightarrow TP2.2y \leftrightarrow SF2.2y \leftrightarrow TC2.2y \leftrightarrow \dots) \subset R^3, \quad (3)$$

або в символічному поданні:

$$H_{22y} = (CL \leftrightarrow KN \leftrightarrow PL \leftrightarrow TP \leftrightarrow SF \leftrightarrow TC \leftrightarrow \dots)2.2y \subset R^3. \quad (4)$$

Топологічно-еквівалентні перетворення за моделлю (3, 4) породжують множину Е-хромосом в межах горизонтального гомологічного ряду, які відрізняються лише першою складовою генетичної інформації в структурі їх універсальних генетичних кодів. В прикладних задачах генетичного синтезу, оператору мутації M_G ставиться у відповідність група неперервних просторових деформацій – стиснення, розтягу, зсуву, повороту, кручення та ін.

Важливою властивістю горизонтальних гомологічних рядів є також їх прогностична функція. Так як довільний одиничний ЕМ-об'єкт є структурним представником певного гомологічного ряду, то за генетичною інформацією об'єкта, в періодичній структурі ГК, визначається структура «ідеального» гомологічного ряду, генетичні коди структурних представників якого виконують роль інтелектуальних підказок в задачах передбачення і спрямованого синтезу об'єктів-гомологів, ще відсутніх на даний час еволюції досліджуваного класу. Результати передбачення відкрили можливість створення нових класів модульних ЕМ-об'єктів з 2D- і 3D-просторовою адаптацією активної зони, шляхом керованої зміни просторової геометрії активної поверхні в процесі їх функціонування (рис. 7) [20].

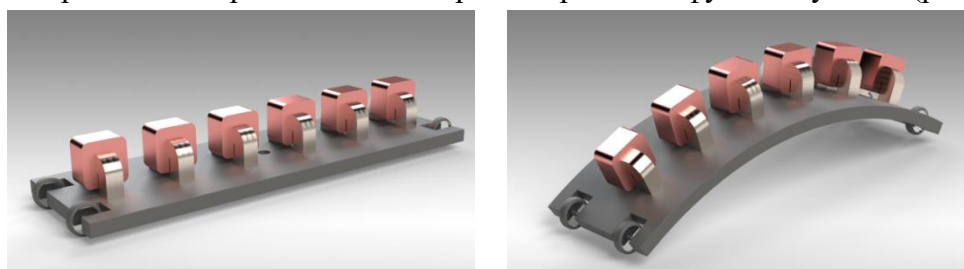


Рис. 7. Багатофункціональний індукторний модуль із просторово адаптивною активною поверхнею (результат синтезу міжродової хромосомної мутації $(PL2.2y \leftrightarrow CL2.2y)$)

На топологічну природу просторової трансформації в морфогенезі біологічних Видів уперше звернув увагу шотландський біолог і математик Д'Арсі Томпсон [21]. Він вперше описав перехід від морфології окремих біологічних Видів до іншого, простою

деформацією двовимірного простору (рис. 8, б). Ізоморфізм топологічних моделей у біологічному й електромеханічному вибудовуванні засвідчує системну природу міжвидової трансформації в межах відповідних горизонтальних гомологічних рядів (рис. 8, а, б), яка визначається принципом топологічної інваріантності гомологічних хромосом.

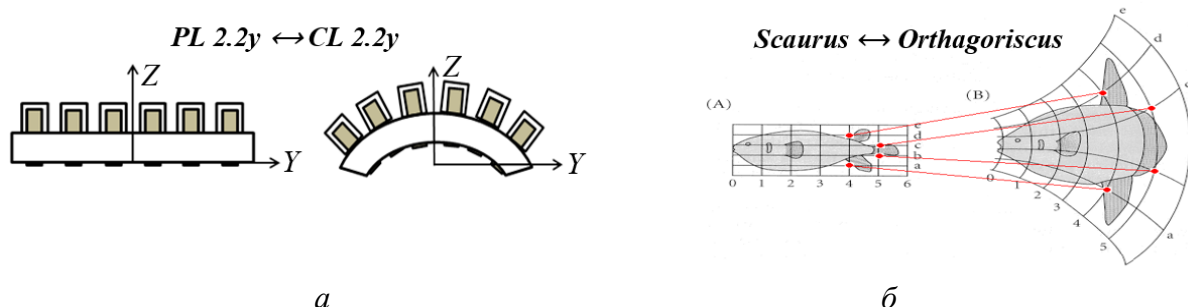


Рис. 8. Прояви принципу топологічної інваріантності в межах горизонтальних гомологічних рядів:

а – в електромеханіці (V. Shynkarenko); б – у біології (D'Arcy Thompson)

Ізоморфізм принципу топологічної інваріантності в межах горизонтальних гомологічних рядів в біології і електромеханіці вказує на системну природу міжродових мутацій, що є черговим підтвердженням гіпотези множинності періодичних породжувальних систем різної генетичної природи [22].

Найбільшу практичну цінність мають міжродові хромосомні мутації в межах групи 2.2, генетична схильність яких максимально чутлива як до зміни просторової орієнтації активних частин, так і до зміни геометрії активної поверхні. Зазначені просторові трансформації встановлюють детермінований зв'язок мутованих Е-хромосом з просторовою геометрією активної поверхні і видом просторового руху об'єктів-нащадків (табл. 3).

Таблиця 3 – Взаємозв'язок міжродових хромосомних мутацій з 2D-геометрією активної поверхні й видом просторового руху ЕМ-об'єктів-нащадків модульного типу (підгрупа 2.2у першого великого періоду ГК)

Міжродова хромосомна мутація	Вид просторової деформації	Структурна формула мутованої хромосоми	Вид просторового руху
$PL \leftrightarrow CL$	M_{OY}	$2.2y(PL \leftrightarrow CL)_1$	Поступальний (V_{Ox}) ↔ обертальний (ω_{Oy})
$PL \leftrightarrow TP$	M_{OZ}	$2.2y(PL \leftrightarrow TP)_1$	Поступальний (V_{Ox}) ↔ обертальний (ω_{Oz})
$PL \leftrightarrow SF$	$(M_{OY} \leftrightarrow M_{Ox})_R$	$2.2y(PL \leftrightarrow SF)_1$	Поступальний (V_{Ox}) ↔ обертальний (ω_{Oy})
$CL \leftrightarrow SF$	M_{Ox}	$2.2y(CL \leftrightarrow SF)_1$	Обертальний (ω_{Oy})
$PL \leftrightarrow KN$	$M_{Oz} \leftrightarrow M_{Oy}$	$2.2y(PL \leftrightarrow KN)_1$	Поступальний (V_{Ox}) ↔ обертальний (ω_{Oy})
$TP \leftrightarrow KN$	M_{OY}	$2.2y(TP \leftrightarrow KN)_1$	Обертальний (ω_{Oz}) ↔ (ω_{Oy})
$CL \leftrightarrow KN$	M_{Oz}	$2.2y(CL \leftrightarrow KN)_1$	Обертальний (ω_{Oy})
$KN \leftrightarrow SF$	$(M_{Ox} \leftrightarrow M_{Oy})_R$	$2.2y(KN \leftrightarrow SF)_1$	Обертальний (ω_{Oy})
$TP \leftrightarrow SF$	$(M_{Ox} \leftrightarrow M_{Oy})_R$	$2.2y(TP \leftrightarrow SF)_1$	Обертальний (ω_{Oz}) ↔ (ω_{Oy})
$CL \leftrightarrow TP$	$M_{Oy} \leftrightarrow M_{Oz}$	$2.2y(CL \leftrightarrow TP)_1$	Обертальний (ω_{Oy}) ↔ (ω_{Oz})
$CL \leftrightarrow TC$	$[M_{Oy} \leftrightarrow (M_{Ox})_{R1} \leftrightarrow (M_{Oz})_{R2}]$, де $(R_2 > R_1)$	$2.2y(CL \leftrightarrow TC)_1$	Обертальний (ω_{Oy}) ↔ (ω_{Oz})
$PL \leftrightarrow TC$	$[(M_{Ox})_{R1} \leftrightarrow (M_{Oz})_{R2}]$, де $(R_2 > R_1)$	$2.2y(PL \leftrightarrow TC)_1$	Поступальний (V_{Ox}) ↔ обертальний (ω_{Oz})
$KN \leftrightarrow TC$	$[(M_{Oz})_{R2} \leftrightarrow (M_{Ox})_{R1}]$, де $(R_2 > R_1)$	$2.2y(KN \leftrightarrow TC)_1$	Обертальний (ω_{Oy}) ↔ (ω_{Oz})
$SF \leftrightarrow TC$	$[(M_{Ox})_{R1} \leftrightarrow (M_{Oz})_{R2}]$, де $(R_2 > R_1)$	$2.2y(SF \leftrightarrow TC)_1$	Обертальний (ω_{Oy}) ↔ (ω_{Oz})

Якщо об'єкти класичної електромеханіки створюються за принципом збереження геометричної еквідистантності їхніх активних частин для реалізації відповідного виду просторового руху, то об'єкти просторово адаптивної електромеханіки (табл. 3) наділені можливістю керованої зміни просторової геометрії активної зони з одночасною зміною виду просторового руху, залежно від морфології і електромагнітних властивостей об'єктів технологічного процесу. У просторово розподілених ЕМ-системах на основі адаптивних модулів відкривається можливість також змінювати топологію просторової активної поверхні, що дозволяє здійснювати енергоощадні процеси керування.

Систематизовану інформацію, яку представлено в табл. 3, можна розглядати як системну основу генетичного структуроутворення модульних об'єктів просторово адаптивної електромеханіки, розробки алгоритмів інноваційного синтезу їхніх структурних композицій і генерації оригінальних технічних рішень.

Висновки. Результати структурно-системних досліджень хромосомних мутацій в ЕМ-системах можна узагальнити наступними основними положеннями:

1. Мутації є одним з найбільш поширених і продуктивних механізмів адаптивної еволюції генетично організованих систем як біологічного, так і антропогенного походження.
2. На відміну від мутацій біологічного походження, структурні мутації об'єктів електромеханіки, незважаючи на наявність певних порушень принципів електромеханічного перетворення енергії, у переважній більшості, забезпечують реалізацію основної функції ЕМ-об'єктів.
3. Структурні й магнітні мутації необхідно розглядати як один із ефективних напрямів адаптивного структуроутворення ЕМ-об'єктів.
4. В еволюції об'єктів техніки джерелом генерації нетрадиційних структурних варіацій і електромагнітних ефектів, які забезпечують широкий діапазон адаптивної мінливості технічних рішень, виступають результати творчої діяльності дослідника, які в інтеграції з хромосомними мутаціями набувають передбачуваного характеру.
5. У структурах ЕМ-об'єктів мутації утворюють стійкі комбінації з іншими принципами внутрішньовидового генетичного структуроутворення – реплікацією, схрещуванням, інверсією і кросинговером, що відкриває можливість розробки алгоритмів інноваційного синтезу.
6. З використанням технології генетичного передбачення, вперше відкрито механізм міжродових мутацій, який визначає принципи структуроутворення нових поколінь модульних ЕМ-об'єктів з 2D- і 3D-просторовою адаптацією активної зони.
7. Стійкість і тривалість мутагенезу в конкурентній технічній еволюції ЕМ-об'єктів визначається рівнем емерджентності мутованої структури і регулюються в ряду поколінь техніко-економічним відбором.
8. Структурні і магнітні мутації моделюються на рівні електромагнітних хромосом (первинних джерел електромагнітного поля);
9. Генетична схильність Е-хромосом до мутацій визначається їх гомеоморфізмом у межах відповідних горизонтальних гомологічних рядів;
10. Математичною основою методів генетичного синтезу міжродових мутацій виступає група топологічно-еквівалентних просторових перетворень (зсуву, розтягу, стиснення, повороту, кручення та ін.) щодо довільної гомологічної хромосоми.

Генетичні принципи адаптивного структуроутворення на основі принципу мутацій, у поєднанні з когнітивними механізмами мислення людини-дослідника, є ефективним способом виходу за межі тривіального мислення і невичерпним джерелом генерації но-

вих ідей, неочікуваних структурних композицій і оригінальних технічних рішень. Мутаційні процеси безпосередньо пов'язані з виникненням стійких емерджентних ефектів, які створюють передумови розробки нових поколінь об'єктів техніки.

Результати цього дослідження засвідчують, що фундаментальні положення теорії генетичної еволюції ламають існуючі стереотипи, стосовно суто біологічної природи генетичних принципів структуроутворення, відкриваючи можливість переходу від стереотипів вузькодисциплінарного підходу до системної стратегії генетичного синтезу на принципах гармонійного співіснування людини природи і техніки. Незнання або свідоме ігнорування системних принципів генетичного структуроутворення, призводить до суттєвих втрат часових і матеріальних ресурсів, створення неконкурентоспроможних систем або систем, які з часом входять в екологічний конфлікт з довкіллям.

Список використаних джерел

1. Урманцев Ю. А. Эволюционика, или общая теория развития систем природы, общества и мышления / Ю. А. Урманцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 240 с.
2. Князева Е. Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов. – М. : Наука, 1994. – 236 с.
3. Эбелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический подход : пер. с нем. / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель ; пер. с нем. Ю. А. Данилова. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
4. Шинкаренко В. Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем / В. Ф. Шинкаренко. – К. : Наукова думка, 2002. – 288 с.
5. Брюхович Е. И. Биогенетический закон Геккеля и его роль в выявлении механизма ретрансляции естественных законов в процессе создания и эволюционирования вычислительной техники. Ч. 2 / Е. И. Брюхович // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 169-180. – Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/83387>
6. Бушуев В. В. Космос и Земля. Электромеханические взаимодействия / В. В. Бушуев, И. П. Копылов. – М. : ИАЦ Энергия, 2005. – 176 с.
7. Shendure J. The origins, determinants, and consequences of human mutations [Electronic resource] / Shendure J., Akey J. M. // Science. – 2015. – Vol. 349, No. 6255. – Pp. 1478–1483. – Access mode : <https://doi.org/10.1126/science.aaa9119>.
8. Holmes B. Language 'mutations' affect least-used words / Bob Holmes // NewScientist. – Access mode: <https://www.newscientist.com/article/dn12772-language-mutations-affect-least-used-words/>. – Access date : 11 жовтня 2007. – Screen name.
9. Мышинский Г. В. Низкоэнергетическая трансмутация атомных ядер химических элементов. Распределение по элементам в продуктах трансмутации. Нуклеосинтез / Г. В. Мышинский, В. Д. Кузнецов, Ф. М. Пеньков // Журнал Формирующихся Направлений Науки. – 2017. – Т. 5, № 17–18. – С. 61–81. – Режим доступа: <http://www.unconv-science.org/n17/myshinskiy2>.
10. Лисовицкий В. М. Методологический принцип междисциплинарности в истории экономической науки / В. М. Лисовицкий // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Економічна», 2018. – Вип. 95. – С. 16–22. – Режим доступа: <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2018-95-02>.
11. Fukuyama Fr. The Origins of Political Order: From Prehuman Times to the French Revolution / Francis Fukuyama. – New York : Farrar, Straus and Giroux, 2011. – 608 p.
12. Zhu Z. Research on Evolution Mechanism of Technological Original Innovation – With Mutation Theory of Respective / Z. Zhu, J. Li, T. Chen // Journal of Service Science and Management, 2012. – Vol. 5, No. 1. – Pp. 28–36. – Access mode: <https://doi.org/10.4236/jssm.2012.51004>.
13. Project Management Stage Mutations within Agile Methodological Framework Process Transformations / Markopoulos E., Bilbao J., Bravo E., Stoilov T., Vos T., Talamanca C., Reschwamm K. // WSEAS Transactions on Information Science & Applications. – 2008. – Vol. 5, Is. 5. – Pp. 776–785. – Access mode: <https://www.academia.edu/6874971>.

14. Лима-де-Фариа А. Эволюция без отбора: Автоэволюция формы и функции : пер. с англ. / А. Лима-де-Фариа ; пер. с англ. Е. Б. Кофмана, Н. О. Фоминой ; под ред. Л. И. Корочкина – М. : Мир, 1991. – 455 с.
15. Коряков Д. Е. Хромосомы. Структура и функции / Д. Е. Коряков, И. Ф. Жимулев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 258 с.
16. Шинкаренко В. Ф. Словник із структурної і генетичної електромеханіки / В. Ф. Шинкаренко, А. А. Шиманська. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 112 с.
17. Laithwaite E. R. A History of Linear Electric Motors / E. R. Laithwaite. – London : Macmillan, 1987. – 389 p.
18. Генетическая программа структурной эволюции электродвигателей с катящимся ротором / В. Ф. Шинкаренко, В. В. Наний, В. В. Котлярова, А. А. Дунев // *Электротехника та електроенергетика*, 2012. – № 2. – С. 42-48.
19. Зорич В. А. Теорема М. А. Лаврентьева о квазиконформных отображениях пространства / В. А. Зорич // *Математический сборник*. – 1967. – Т. 74(116), № 3. – С. 417–433.
20. Genetic Organization and Evolution of Electromechanical Objects with Adaptive Geometry of Active Zone / V. Shynkarenko, A. Makki, V. Kotliarova, A. Shymanska, P. Krasovskiy // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. Special Issue on Multidisciplinary Innovation in Engineering Science & Technology*. – 2020. – Vol. 5, No. 5. – Pp. 512–525. – Access mode: <https://doi.org/10.25046/aj050564>.
21. Витковски Н. Сентиментальная история науки : пер. с фр. / Н. Витковски ; пер. с фр. Д. Баюка. – М. : КоЛибри, 2007. – 448 с.
22. Шинкаренко В. Ф. Изоморфизмы порождающих систем (на примере электромагнитной и числовой) / В. Ф. Шинкаренко // *Электромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2019. – № 1(45). – С. 46–55. – Режим доступа : <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2019.1.45.46-55>.

References

1. Urmantsev, Iu.A. (2009). *Evolucionika, ili obshchaia teoriia razvitiia sistem prirody, obshchestva i myshleniia [Evolution, or general development theory of nature's systems, society and mindset]*. Knizhnyi dom «LIBROKOM».
2. Kniazeva, E. N., & Kurdiunov, S. P. (1994). *Zakony evoliucii i samoorganizatsii slozhnykh sistem [Laws of evolution and complex systems self-organization]*. Nauka.
3. Ebeling, V., Engel, A., & Faistel, R. (2001). *Fizika protsessov evoliucii. Sinergeticheskii podkhod [Physics of evolutionary processes. Synergistic approach : translated from German]*. Editorial URSS.
4. Shynkarenko, V.F. (2002). *Osnovy teorii evoliutsii elektromekhanichnykh sistem [Fundamentals of the Electromechanical Systems Evolution Theory]*. Naukova dumka.
5. Briukhovich, E. I. (2010). Biogeneticheskii zakon Gekkelia i ego rol v vyivlenii mekhanizma retransliatsii estestvennykh zakonov v protsesse sozdaniia i evoliucionirovaniia vychislitelnoi tekhniki. Ch. 2. [Haeckel's biogenetic law and its role in identifying the mechanism of retransmission of natural laws in the process of creation and evolution of computer technology. Part 2.]. *Matematichni mashini i sistemi – Mathematical machines and systems*, (4), 169–180. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/83387>.
6. Bushuev, V.V., & Kopylov, I.P. (2005). *Kosmos i Zemlia. Elektromekhanicheskie vzaimodeistviia [Space and Earth. Electromechanical interaction]*. IATc Energiia.
7. Shendure, J., & Akey, J.M. (2015). The origins, determinants, and consequences of human mutations. *Science*, 349(6255), pp. 1478–1483. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9119>
8. Holmes, B. (2007, October 11). *Language 'mutations' affect least-used words*. NewScientist. <https://www.newscientist.com/article/dn12772-language-mutations-affect-least-used-words/>
9. Myshinskii, G.V., Kuznetsov, V.D., & Penkov, F.M. (2017). Nizkoenergeticheskaiia transmutatsiia atomnykh iader khimicheskikh elementov. Raspredelenie po elementam v produktakh transmutatsii. Nukleosintez [Low-energy transmutation of atomic nuclei of chemical elements. Distribution by elements in transmutation probes. Nucleosynthesis]. *Zhurnal Formiruiushchikhsia Napravlenii Nauki – Journal of Formative Directions of Science*, 5(17–18), 61–81. <http://www.unconv-science.org/n17/myshinskiy2/>

10.Lisovitskii, V.M. (2018). Metodologicheskii printcip mezhdistsiplinarnosti v istorii ekonomicheskoi nauki [Methodological principle of interdisciplinarity in the history of economic science]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriya «Ekonomichna» – Transactions of Kharkiv national university named after V.N. Karazin. Series «Economics»*, (95), 16–22. <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2018-95-02>.

11.Fukuyama, Fr. (2011). *The Origins of Political Order: From Prehuman Times to the French Revolution*. Farrar, Straus and Giroux.

12.Zhu, Z., Li, J., & Chen, T. (2012). Research on Evolution Mechanism of Technological Original Innovation—With Mutation Theory of Respective. *Journal of Service Science and Management*, 5(1), 28–36. <https://doi.org/10.4236/jssm.2012.51004>.

13.Markopoulos, E., Bilbao, J., Bravo, E., Stoilov, T., Vos, T., Talamanca, C., & Reschwamm, K. (2008). Project Management Stage Mutations within Agile Methodological Framework Process Transformations. *WSEAS Transactions on Information Science & Applications*, 5(5), 776–785. <https://www.academia.edu/6874971>.

14.Lima-de-Faria, A. (1991). *Evolutiia bez otbora: Avtoevoliutiia formy i funktsii [Evolution without selection. Autoevolution of form and function : translated from English]*. Mir.

15.Koriakov, D. E., & Zhimulev, I. F. (2009). *Khromosomy. Struktura i funktsii [Chromosome. Structure and functions]*. Izd-vo SO RAN.

16.Shynkarenko, V.F., & Shymanska A.A. (2015). *Slovnnyk iz strukturnoi i henetychnoi elektromekhaniky [Electromechanical structural and genetic dictionary]*. NTUU «KPI».

17.Laithwaite, E. R. (1987). *A History of Linear Electric Motors*. Macmillan.

18.Shinkarenko, V.F., Nanii, V.V., Kotliarova, V.V., & Dunev, A.A. (2012). Geneticheskaia programma strukturnoi evoliutcii elektrodvigatelyi s katiashchimsia rotorom [The genetic program of the structural evolution of electric motors with a rolling rotor]. *Elektrotekhnika ta elektroenerhetyka – Electrical engineering & power engineering*, (2), 42–48.

19.Zorich, V.A. (1967). Teorema, M. A. Lavrenteva o kvazikonformnykh otobrazheniakh prostranstva [The quasi-conformal space mapping M. A. Lavrentev's theorem]. *Matematicheskii sbornik – Mathematical proceedings*, 74(116)(3), 417–433.

20.Shynkarenko, V., Makki, A., Kotliarova, V., Shymanska, A., & Krasovskyi, P. (2020). Genetic Organization and Evolution of Electromechanical Objects with Adaptive Geometry of Active Zone. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. Special Issue on Multidisciplinary Innovation in Engineering Science & Technology*, 5(5), 512–525. <https://doi.org/10.25046/aj050564>

21.Vitkovski, N. (2007). *Sentimentalnaia istoriia nauki : per. s fr. [Sentimental history of science : translated from French]*. KoLibri.

22.Shinkarenko, V.F. (2019). Izomorfizmy porozhdaiushchikh sistem (na primere elektromagnitnoi i chislovoi) [Isomorphisms of generative systems (based on the examples of electromagnetic and numeric)]. *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy – Electromechanical and energy saving systems*, 1(45), 46–55. <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2019.1.45.46-55>.

Отримано 05.05.2022

Vasyl Shynkarenko¹, Viktoriia Kotliarova², Yevhen Monakhov³, Pavlo Krasovskiy⁴

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Electromechanics
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: svf1102@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5054-823X>

ResearcherID: [AAK-3777-2020](https://orcid.org/AAK-3777-2020). SCOPUS Author ID: [7005550726](https://orcid.org/7005550726)

²Senior Lecturer at the Department of Electromechanics
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sharik_2004@ukr.net. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4182-4175>

ResearcherID: [AAK-3782-2020](https://orcid.org/AAK-3782-2020). SCOPUS Author ID: [57202578038](https://orcid.org/57202578038)

³PhD in Engineering Sciences, R&D Director

Zhuji Heist Motors CO., LTD (Zhuji, China)

E-mail: emonachov@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8408-8051>

ResearcherID: [AAK-3885-2020](https://orcid.org/AAK-3885-2020). SCOPUS Author ID: [57191825945](https://orcid.org/57191825945)

⁴Postgraduate Student at the Department of Electromechanics
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: krasovskiyipav@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4757-9879>

SCOPUS Author ID: [57219491120](https://orcid.org/57219491120)

STRUCTURAL MUTATIONS IN ADAPTIVE EVOLUTION OF ELECTROMECHANICAL ENERGY CONVERTERS

COVID-19 pandemic that involved almost whole world doesn't call any doubts to anyone that humankind's fate is determined at present and future times by level of knowledge and technologies which have ability to recognize properties and define laws of variability of elemental genetic chromosome level. Humankind stands at the doorstep to a genomic era. Significant achievement of the science in the new period became the awareness that inheritance principles and genetic evolution laws are not prerogative just for live nature systems, but have general systematic character. Structural diversity and evolution of genetically organized systems with different physical nature which variety (spectrum) spread from space, through chemical, biologic to social and anthropogenic systems are defined through own element informational basis and general systematic principles of inherited forming structure. Cognition of genetic principles of structural organization is key in concept of harmonic coexistence of mankind, nature and technology.

The term mutation in modern science has come out of the limits of biology and became a research object in chemistry, linguistics, musical theory, mathematics, computing machinery, architecture, sociology and political science, project management and other scientific subjects. Nevertheless, in the technical sciences level of knowledge and genomic-evolutionary research is being at initial stage. Therefore, one of the most important systematical research directions is cognition of evolutionary processes of genetic structural forming and structural variability of technical objects, that open route to strategy of genetic foreseeing and interdisciplinary synthesis of complex systems with different genetic nature components.

This article is dedicated to systematic analysis of structural mutagenesis – one of the most productive and less studied process in innovative structure forming and evolution of electromechanical objects.

In accordance to fundamental notion of electromagnetic chromosome, the primary source of electromagnetic field, genetic information and universal genetic code which unambiguously determined by its position in periodic structure of genetic classification is set. Electromagnetic chromosomes fulfill role of output holistic elements in genetic structure forming of electromechanical objects and higher complexity level systems. The determined informational interrelation of primary electromagnetic field sources and complexity level of electromechanical objects is shown. Electromagnetic, topological and geometrical properties of electromagnetic chromosomes which are defined by general systematic principles of electric charge conservation, electromagnetic symmetry, topology and generalized by terms of genetic information are analyzed. The classification of main variety of electromagnetic chromosomes is given. It is shown, that chromosome mutation is one of the most productive direction in heritable variety of structures, that are responsible for saving and transferring genetic information in a number of generations of electromechanical objects. It is defined that steadfast combination of genetic synthesis operators with participation of chromosome mutation, which are used in technical evolution of functional classes of electromechanical objects. In accordance to term of structural mutation, the violation of optimal geometrical ratios and proportions, relative orientation, position in space or overlapping of active parts are set. The term of magnetic mutation that are caused by local violation of magnetic field symmetry, namely combining of corresponding electromagnetic parameters is introduced and generalized. It is shown that electromagnetic chromosome's predisposition to structural mutation is determined by topological properties of electromagnetic chromosome within corresponding subgroups in periodic structure of its genetic classification. By using the genetic foreseeing technology, for the first-time discovered mutations of interspecific and intergeneric levels, which are define existence limits and principles of electromechanical object's genetic synthesis with 2D- and 3D-space active zone adaptation. The mutation structure forming processes are initiated by human and perform adaptive function that accompanied by gaining corresponding emergent effect.

Keywords: electromechanical objects; genetic evolution; system isomorphs; electromagnetic chromosome; genetic code; theory of chromosome structure formation; chromosome mutation; adaptation.

Table: 3. Fig.: 8. References: 22.