

УДК 621.313

СИНТЕЗ МАГНІТНИХ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ОБМОТКАМИ-БЛИЗНЮКАМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ГЕНЕТИЧНИХ ПРОГРАМ

В. Ф. Шинкаренко, В. В. Котлярова, А. А. Шиманська

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
просп. Перемоги, 36, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: svf46@voliacable.com

Аналізується проблема синтезу при створенні складних технічних систем з електромеханічними перетворювачами енергії. Показано ключове значення генетичних програм структуроутворення в пошукових задачах синтезу нових різновидів магнітних систем електричних машин із розподіленими обмотками. Аналізується генетична природа ізотопії електромагнітних структур і розкривається її структурно-інформаційний зв'язок із технічною еволюцією електромеханічних об'єктів-близнюків. Визначено принципи формоутворення розподілених обмоток близнюкових видів. На прикладі первинних структур-ізопопів третього покоління розшифровано макрогенетичну програму поверхневих обмоток-близнюків та визначено їх інноваційний потенціал. За результатами генетичного моделювання здійснено синтез електромагнітних систем з обмотками близнюкових видів. За результатами досліджень здійснено розробку оригінальних магнітних систем електричних машин та електромеханічних дезінтеграторів з обмотками-близнюками, технічні рішення яких уперше синтезовано за генетичними програмами електромагнітних джерел-ізопопів.

Ключові слова: електромагнітні джерела-ізопопи, генетична програма, структурне передбачення, інноваційний синтез, розподілені обмотки-близнюки.

СИНТЕЗ МАГНІТНИХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ОБМОТКАМИ-БЛИЗНЕЦАМИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

В. Ф. Шинкаренко, В. В. Котлярова, А. А. Шиманская

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
просп. Победы, 36, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: svf46@voliacable.com

Анализируется проблема синтеза при создании сложных технических систем с электромеханическими преобразователями энергии. Показано ключевое значение генетических программ структурообразования в поисковых задачах синтеза новых разновидностей магнитных систем электрических машин с распределенными обмотками. Анализируется генетическая природа изотопии электромагнитных структур и раскрывается ее структурно-информационная связь с технической эволюцией электромеханических объектов-близнецов. Определены принципы формообразования распределенных обмоток близнецовых видов. На примере первичных структур-изотопов третьего поколения расшифрована макрогенетическая программа поверхностных обмоток-близнецов и определен их инновационный потенциал. По результатам генетического моделирования осуществлен синтез электромагнитных систем электрических машин и электромеханических дезинтеграторов с обмотками-близнецами, технические решения которых впервые синтезированы по генетическим программам электромагнитных источников-изотопов.

Ключевые слова: электромагнитные источники-изотопы, генетическая программа, структурное предвидение, инновационный синтез, распределенные обмотки-близнецы.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В еволюційному розвитку наукових напрямів з кінця ХХ ст. спостерігається стійка тенденція, в якій поряд з методологією класичної науки – аналізом – інтенсивно розвивається напрям синтезу. Домінуючі стратегії синтезу спрямовані на розробку й застосування природно орієнтованих методів і технологій синтезу за принципом «від простого – до складного», відповідно до якого з кінцевої множини елементарних структур створюється складна система із заданими властивостями. «Історія еволюції є історія виникнення більш складних структур з більш простих; адже суть еволюції полягає в інтеграції простих елементів у цілісні утворення більш високого рівня, тобто в складній системі, які характеризуються новою якістю» [1].

Поступово змінюється й підхід до організації наукових досліджень та розробок. Спостерігається перехід від вузькоспеціалізованих прикладних досліджень до системної методології міждисциплінар-

ного синтезу складних систем із компонентами різної фізичної природи. Нове розуміння міждисциплінарності ґрунтується на використанні ідей і принципів структурно-інформаційної спадковості.

Прикладом реалізації зазначених стратегій є масштабний міжнародний проект зі створення штучного геному, який увійшов до десяти найвагоміших досягнень останнього десятиліття. Програмою проекту в недалекому майбутньому, з використанням генетичних моделей синтезу, передбачається створення штучного організму з генетичними принципами програмування його розвитку та функціонування [2].

У технічних дисциплінах, у силу їх штучної диференціації й обмежень, накладених паспортами спеціальностей, системні напрями досліджень розвиваються досить повільно. Зокрема в електромеханіці, незважаючи на вражаючі досягнення математичного моделювання й потужне програмне забез-

печення чисельних розрахунків електромагнітних полів, недостатньо дослідженим і найменш методично та інформаційно забезпеченим залишається великий клас системних і пошукових задач структурного синтезу електромеханічних об'єктів (ЕМ-об'єктів) та систем на їх основі. Структурному синтезу приділяється увага, абсолютно не порівняна з вагомістю й значенням таких задач у загальному циклі проектування, особливо на етапах пошукового проектування, при створенні складних конкурентоспроможних технічних систем з електромеханічними перетворювачами енергії (ЕМПЕ).

Як відомо, спроби постановки задач структурного синтезу настановлюються на низку непереборних труднощів системного, методологічного, технічного й психологічного характеру. Сучасний арсенал методологічного забезпечення задач синтезу структур наданий переважно методами морфологічного й евристичного синтезу та еволюційними алгоритмами, які орієнтовані на обмежені класи прикладних задач і не гарантують повноту їх розв'язання. Практично відсутні дослідження з теорії й методології інноваційного синтезу принципово нових об'єктів електромеханіки. На думку більшості спеціалістів, ефективних методів і алгоритмів оптимального розв'язання задач такого типу в технічних науках не існує [3–5]. Із цієї причини переважна більшість прикладних задач обмежується розв'язанням оптимізаційних задач параметричного синтезу, результати яких завершуються незначними технічними вдосконаленнями завчасно відомих ЕМ-об'єктів.

Результати міждисциплінарних структурно-системних досліджень, які отримано за останні роки в галузі генетичної й структурної електромеханіки, кардинально змінили існуючі уявлення стосовно принципів структуроутворення технічних систем. Одним із ключових результатів структурно-системних досліджень стало теоретичне обґрунтування й експериментальне підтвердження приналежності електромагнітних і електромеханічних систем, розвиток яких ініціюється й спрямовується людиною, до категорії генетично організованих систем (ГОС) [6, 7].

Відкриттям генетичної класифікації (ГК) первинних джерел магнітного поля й пізнанням фундаментальних принципів спадковості у структурній організації і еволюції ЕМ-об'єктів створено методологічну основу для розв'язання принципово нових задач системного характеру, постановка яких до останнього часу вважалася неможливою або проблематичною [6]. До категорії таких задач можна віднести й задачі розшифрування генетичних програм структуроутворення ЕМ-об'єктів довільного рівня складності (обмоток, магнітних систем, активних частин електричних машин тощо), які визначають їх генетично допустиму структурну різноманітність у межах заданої цільової функції.

Результатами попередніх досліджень встановлено, що спадкові властивості довільних класів обмоток ЕМ-об'єктів розпізнаються через генетичну ін-

формацію кінцевої множини первинних джерел електромагнітного поля (батьківських електромагнітних хромосом), системним носієм яких виступає періодична структура ГК. Структурна різноманітність таких обмоток і їх відповідних технічних реалізацій в електромеханіці однозначно визначається їх генетичними програмами. Наявність генетичної програми є однією з необхідних умов у процесах структуроутворення й еволюції ГОС як природного, так і антропогенного походження [7].

Установлено, що генетичні програми мають багаторівневу структуру, що відкриває можливість реалізації технології передбачення на рівні видів, родів і довільних функціональних класів ЕМ-об'єктів. Між елементним базисом довільної підгрупи ГК і відповідними класами розподілених обмоток існує детермінований інформаційний зв'язок, який визначається наступною послідовністю структурних рівнів: «Батьківська електромагнітна хромосома» → «Активна поверхня, електромагнітна симетрія і топологія розподіленої обмотки» → «Вид магнітної системи електромеханічного об'єкта» → «Гомологічний ряд магнітних систем» → «Функціональний клас ЕМ-об'єктів».

Генетичні програми макрорівня містять упорядковану інформацію стосовно кінцевої множини породжувальних електромагнітних хромосом (первинних джерел електромагнітного поля), які визначають генетично допустиму видову різноманітність об'єктів-нащадків у межах досліджуваного класу ЕМ-об'єктів.

Питомі показники електричних машин (ЕМ) у значній мірі визначаються ефективним використанням їх активного об'єму. Як відомо, в осесиметричних машинах змінного струму умовний активний об'єм $D^2 \times l_\delta$ безпосередньо пов'язаний з основними геометричними розмірами машини й величиною електромагнітної потужності P_{EM} [8]

$$D^2 \times l_\delta = C_A P_{EM} / n_l, \quad (1)$$

де C_A – стала Арнольда; n_l – частота обертання, об/хв.

Ефективність використання активного об'єму можна оцінити також за допомогою коефіцієнта K_A , який визначається співвідношенням площ електромагнітно-пов'язаних активних поверхонь вторинної (S_2) і первинної частин (S_1) електричної машини:

$$K_A = S_2 / S_1 = S_2 / S_A + S_L, \quad (2)$$

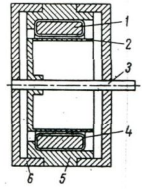
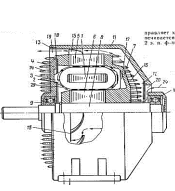
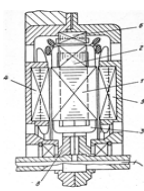
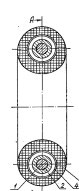
де S_A – активна поверхня розподіленої обмотки, задіяної у створенні основного магнітного потоку; S_L – неробочі ділянки поверхні обмотки.

На даний час еволюції технічно реалізована лише незначна кількість видів обмоток ЕМПЕ з множини генетично допустимих. Переважна більшість видів обмоток мають статус неявних, тобто генетично визначених у вигляді множини первинних джерел-ізотопів, але ще відсутніх на даний час еволюції. Генетичний аналіз розподілених обмоток базового рівня показав [9], що найбільшою схильністю до

утворення об'ємних активних зон наділені кільцеві обмотки з топологією груп 0.0 та 2.0, що підтверджується результатами еволюційних експериментів (табл. 1). Використання ж обмоток поверхневого типу, а також обмоток з генетичною інформацією джерел-ізопопів обмежується лише окремими технічними рішеннями, а їх системне узагальнення й порівняльний аналіз у літературі ще відсутні. Найв-

ність інформації стосовно ЕМ-структур, наданих джерелами-ізопопами, відкриває принципово нові можливості в задачах структурного передбачення й синтезу нетрадиційних різновидів обмоток і магнітних систем ЕМ-об'єктів, які до останнього часу залишаються прихованими від дослідників або були відомими лише у вигляді топологічних абстракцій.

Таблиця 1 – Магнітні системи електричних машин з різною ефективністю використання активної поверхні розподіленої обмотки (на прикладі ЕМ-об'єктів підгрупи 0.0у)

Показник	Генетичний код виду електричних машин			
	ЦІ 0.0у	ЦІ 0.0у	ТІ 0.0у	ТЦ 0.0у
Конструктивне виконання				
*Коефіцієнт K_A	0,33	0,67	0,83	1,0
Кількість елементарних роторів	1	2	3	1
Джерело інформації	[12]	[13]	[14]	[15]

* Розрахований для співвідношення сторін секції кільцевої розподіленої обмотки: 1: 0,5:1: 0,5

Тому системні дослідження інноваційного потенціалу генетичних програм структуроутворення, з можливістю передбачення нових топологічних класів магнітних систем, становлять актуальну задачу.

Метою даної роботи є визначення генетичних програм формоутворення й синтезу нових класів розподілених обмоток-близнюків на прикладі обмоток поверхневого типу за заданою функцією синтезу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Ізотопія первинних джерел магнітного поля. Ізотопія – одна із загальносистемних властивостей елементно-інформаційного базису ГОС доволіної генетичної природи. У структуроутворенні ЕМ-об'єктів явище структурної ізотопії вперше було відкрито й описано в процесі дослідження інваріантних властивостей періодичної структури ГК [6]. Джерела-ізопопи – первинні джерела поля, які мають спільний генетичний код із джерелами базового рівня ГК, але відрізняються рівнем складності просторової форми джерела поля за умови збереження їх родової геометрії [6].

В ієрархії рівнів генетичної складності ЕМ-структур джерела-ізопопи виконують функцію породжувальних у послідовності взаємопов'язаних структурних рівнів: «електромагнітна хромосома-ізопоп» → «топологічно-еквівалентна розподілена обмотка-близнюк» → «Електромеханічний об'єкт-близнюк» → «Вид-близнюк» → «функціональний клас ЕМ-об'єктів-близнюків» (рис. 1).

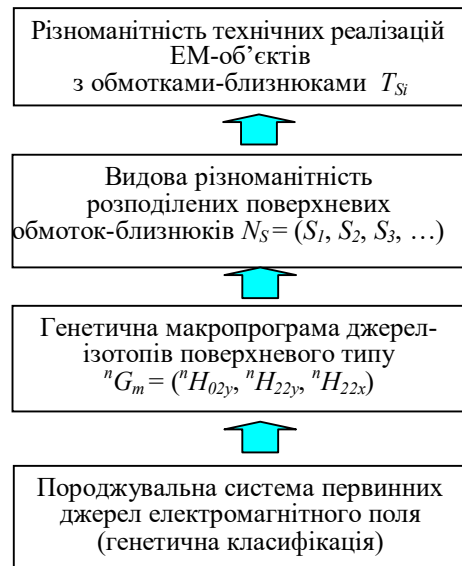


Рисунок 1 – Ієрархія рівнів структурної організації ЕМ-об'єктів з розподіленими обмотками-близнюками поверхневого типу

На рівні технічної еволюції електромагнітних систем ізотопія первинних джерел магнітного поля надана відповідними генетично спорідненими об'єктами-близнюками та видами-близнюками. Наявність видів-близнюків є загальносистемною властивістю ГОС, що еволюціонують у часі.

Групові властивості первинних джерел поля безпосередньо пов'язані з відповідними системними

властивостями топологічно-еквівалентних класів розподілених обмоток. Якщо гомологічному ряду хромосом підгрупи ${}^3H_{02y}$ ставляться у відповідність розподілені обмотки на замкнених активних поверхнях, то гомологічні хромосоми підгруп ${}^1H_{22x}$ і ${}^2H_{22y}$ виконують функцію породжувальних для обмоток з дуговими й плоскими активними поверхнями з краєм.

Порівняльний аналіз джерел-ізопопів з генетично спорідненими джерелами базового рівня дозволяє виявити їх основну відмінність – наявність більш складних просторових форм з розвиненою активною поверхнею. Інформація стосовно генетичного потенціалу джерел-ізопопів відкриває можливість їх систематизації й практичного використання в задачах структурного синтезу нетрадиційних класів багатофазних обмоток та магнітних систем на їх основі.

Принципи формотворення поверхневих обмоток-близнюків. Генетична класифікація первинних джерел електромагнітного поля виконує функцію глобальної генетичної програми й системної моделі структуроутворення просторових і топологічних класів розподілених обмоток ЕМ-об'єктів. Системні властивості розподілених обмоток мають групову природу й визначаються відповідними топологічно-еквівалентними рядами первинних джерел магнітного поля.

Приналежність ЕМ-структури до відповідної групи ГК визначає її інваріантну структуру й генетичну інформацію, які зберігаються в об'єктах-нащадках більш високого рівня складності. Одним з інваріантів ЕМ-структури виступають топологічні властивості батьківських електромагнітних хромосом, які кодуються другою й третьою складовими універсального генетичного коду. У періодичній структурі ГК зазначений тип інваріантності визначає фундаментальні властивості елементів підгруп, у межах яких однозначно розпізнаються топологічні властивості й генетична різноманітність структур-гомологів.

Як відомо, теоретичний базис топологічної інваріантності для довільних множин метричних просторів узагальнюється теоремою М.О. Лаврентьєва [13]. До найважливіших понять групи топологічних перетворень належить поняття просторової деформації. Математичну основу методу просторових деформацій становить відображення одного об'єкта в інший. Для довільної електромагнітної хромосоми C_1 , як елемента топологічного простору підгрупи G_i , з розмірністю R^3 справедливі наступні топологічно-еквівалентні перетворення [14]:

$$(f: C_1 \rightarrow C_2) \subset G_i; \quad (3)$$

$$(f^{-1}: C_2 \rightarrow C_1) \subset G_i, \quad (4)$$

де f, f^{-1} – функції прямого й зворотного неперевного взаємодозначного відображення.

Еквівалентні перетворення (3), (4) характеризують фундаментальну властивість гомеоморфізму генетично визначених елементів (хромосом) довільної підгрупи G_i в евклідовому просторі R^3 :

$$f: R^3/C_1 \rightarrow R^3/C_2, \dots \rightarrow R^3/C_n \subset G_i. \quad (5)$$

Принцип структуроутворення електромагнітних хромосом-ізопопів визначається їх гомеоморфізмом (топологічно еквівалентним перетворенням), який установлює їх групові властивості й методологію їх синтезу. Зазначену закономірність можна проілюструвати на прикладі формоутворення секцій поверхневої багатофазної обмотки, яким ставляться у відповідність активні поверхні відповідних розподілених обмоток. Двовимірні моделі секцій, які надані у вигляді графічних примітивів (рис. 2), належать до одного топологічного простору й утворюють послідовність топологічно-еквівалентних форм з різною просторовою геометрією активних частин.

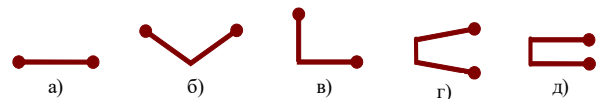


Рисунок 2 – Гомеоморфізм секції поверхневої обмотки: а) вихідна геометрія секції з односторонньою активною зоною; б), в) V-подібна і Γ-подібна з двосторонньою активною зоною; г), д) трапецевидна і Π-подібна з тристоронньою активною зоною

Секція з односторонньою активною зоною базового рівня (рис. 2,а) топологічно еквівалентна секціям обмоток більш високого рівня геометричної складності, зокрема, з двосторонньою (рис. 2,б-г) і тристоронньою активною зоною (рис. 3,г,д).

Слід зазначити, що процедура просторових деформацій елементарної секції багатофазної обмотки (рис. 3, 4) ілюструє фундаментальну властивість довільного первинного джерела поля – його структурний поліморфізм, який має місце у структурній організації об'єктів довільної генетичної природи.

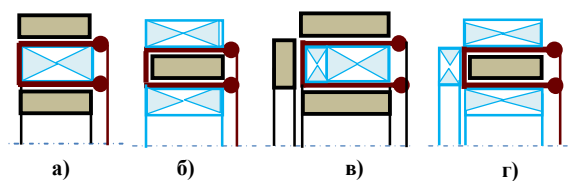


Рисунок 3 – Варіанти формування активного об'єму електричної машини на прикладі однообмоткових циліндричних індукторів-близнюків (породжувальна хромосома-ізопоп ${}^3ЦП(0.2y)$): а), б) з двосторонньою активною зоною; в), г) із тристоронньою активною зоною

У термінах теорії генетичної еволюції первинні джерела поля з геометрією (рис. 2,б-д) визначаються як джерела-ізопопи, а відповідні активні поверхні розподілених обмоток-нащадків узагальнюються поняттям обмоток-близнюків [13].

Синтезований ряд секцій інваріантний як відносно просторової геометрії активної поверхні розподіленої обмотки, яка може належати до різних геомет-

ричних класів (циліндричних, конічних, плоских і т.ін.), так і до можливих варіантів просторового компонування їх активного об'єму (рис. 3).

Генетична макропрограма розподілених обмоток-близнюків. Як відомо, функцію системного носія інформації для визначення генетичних програм довільних класів ЕМ-систем виконує предметна область генетичної класифікації первинних джерел електромагнітного поля. Для довільної функції пошуку F_S ставиться у відповідність кінцева множина первинних джерел поля, генетична схильність яких задовольняє заданій F_S . Сукупна генетична інформація зазначеної множини елементів у сукупності з правилами генетичного структуроутворення відповідає статусу макрогенетичної програми для заданої F_S . Наявність генетичної макропрограми, за умови наявності результатів патентних досліджень, дозволяє встановити видову різноманітність класу, яка вже історично існує, а також визначити кількість і генетичну інформацію неявних видів ЕМ, структурні представники яких ще відсутні на даному етапі технічної еволюції класу.

Пошуковий простір джерел структуроутворення R^n досліджуваного класу однообмоткових ЕМ з по-

верхневими m -фазними розподіленими обмотками обмежимо лише тими електромагнітними хромосомами, просторова геометрія активної поверхні яких не створює інверсну орієнтованість і задовольняє умові $N_a \geq 2$, де N_a – кількість активних сторін розподіленої обмотки. У предметній області ГК для електричних машин із твердотільною рухомою частиною, що реалізують обертальний і поступальний рух, такими властивостями наділені лише первинні джерела поля (батьківські хромосоми) першого великого періоду ГК. Тому пошуковий простір R^n обмежуємо предметною областю першого великого періоду ГК і аналізом лише тих батьківських хромосом, генетична схильність яких орієнтована на максимальне використання активного об'єму ЕМ.

Виходячи з генетичного аналізу елементно-інформаційного базису ГК, зазначеній сукупності вимог і обмежень задовольняють лише джерела-ізотопи підгруп 0.2y, 2.2x та 2.2y, кінцева множина яких і визначає область існування обмоток досліджуваного класу магнітних систем (табл. 2).

Таблиця 2 – Область існування розподілених багатофазних обмоток-близнюків поверхневого типу в координатах базових ознак ГК

Код підгрупи	Родова приналежність активної поверхні						Вид кінцевих електромагнітних ефектів
	ЦЛ	КН	ПЛ	ТП	СФ	ТЦ	
³ (0.2y)	☉	☉	—	☉	☉	☉	Поперечний
² (2.2y)	☉	☉	—	☉	☉	☉	Поздовжньо-поперечний
¹ (2.2x)	→	—	→	—	—	—	

Умовні позначення: ☉ – активна поверхня з обертовим полем; → – поверхня з біжучим полем

З урахуванням накладених обмежень, макрогенетична програма містить наступні гомологічні ряди електромагнітних хромосом:

а) хромосом-ізопопів другого та третього покоління зі схильністю до реалізації обертального руху:

$${}^3H_{02y} = ({}^3C_{CL}; {}^3C_{KN}; {}^3C_{TP}; {}^3C_{SF}; {}^3C_{TC}); \quad (6)$$

$${}^2H_{22y} = ({}^2C_{CL}; {}^2C_{KN}; {}^2C_{TP}; {}^2C_{SF}; {}^2C_{TC}); \quad (7)$$

б) хромосом-ізопопів першого покоління зі схильністю до реалізації поступального руху:

$${}^1H_{22x} = ({}^1C_{CL}; {}^1C_{PL}). \quad (8)$$

Отже, програма видоутворення досліджуваного класу ЕМ-об'єктів визначається трьома гомологічними рядами джерел-ізопопів (6)–(8), які надані 12 електромагнітними хромосомами, 10 з яких виконують функцію породжувальних для ЕМ-об'єктів з обертальним рухом (6), (7) і двома хромосомами визначають видовий склад об'єктів з поступальним рухом (8) рухомих частин.

Генетичне моделювання і синтез. Генетичні моделі дозволяють визначити оптимальну траєкторію

пошуку, встановити рівень генетичної складності та отримати структурні формули хромосом, що задовольняють заданій функції синтезу F_S .

До переліку вимог, що визначають інтегральну функцію синтезу, віднесемо наступні:

1) об'єкт дослідження – магнітні системи асинхронних електричних машин (M_A);

2) обмотка індуктора – m -фазна, розподілена, поверхневого типу (W_m);

3) топологія активної поверхні – замкнена у-орієнтована, симетрична (G_{02});

4) максимальне використання активної поверхні обмотки (K_{Amax});

5) конкурентоспроможність відносно відомих аналогів ($C_S > C_A$).

З урахуванням зазначених вимог, вектор інтегральної функції синтезу в пошуковому просторі R^n набуває вигляду

$$F_S = (M_A, W_m, G_{02}, K_{Amax}, C_S > C_A) \subset R^n. \quad (9)$$

Аналіз генетичної програми показує, що сукупності основних часткових вимог (W_m, G_{02}, K_{Amax}) задовольняють лише хромосоми-ізотопи з генетичною

інформацією підгрупи ${}^3H_{0.2y}$, які надалі розглядаються як вихідні в задачі синтезу. Як приклад, моделювання здійснено на основі джерела-ізотопа ${}^3TP\ 0.2y \in {}^3H_{0.2y}$.

Синтез моделі здійснювався відповідно до принципу інформаційної спадкоємності «від простого – до складного», з використанням генетичних операторів реплікації (R_N) внутрішньовидового схрещування (R_C) і просторової інверсії (R_I).

Структура моделі (рис. 4) складається з трьох рівнів складності: рівень батьківських хромосом, який надано генетичною інформацією джерела-ізотопа ${}^3TP\ 0.2y$; генотипом виду, наданим послідовністю з восьми синтезованих хромосом ($C_{10} - C_{621}$), і популяційним рівнем, який визначає відповідні популяції можливих технічних рішень P_{21}, P_{521} і P_{621} .

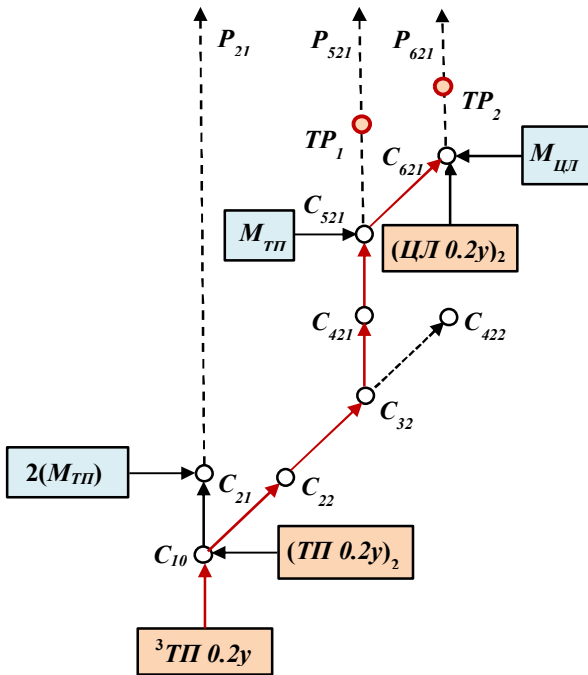


Рисунок 4 – Генетична модель структуроутворення магнітних систем з розподіленими поверхневими обмотками (вид-близнюк ${}^3TP\ 0.2y$): ${}^3TP\ 0.2y$ – батьківська хромосома-ізопоп; $C_{10} - C_{622}$ – хромосомний набір виду; $M_{ТП}, M_{ЦЛ}$ – магнітопроводи тороїдальної й циліндричної просторової геометрії; $(TP\ 0.2y)_2, (ЦЛ\ 0.2y)_2$ – генетичні коди к.з обмоток елементарних роторів; TP_1 – технічне рішення-прототип; TP_2 – синтезоване технічне рішення; P_{21}, P_{522}, P_{622} – популяції технічних рішень

Хромосоми першого й другого рівнів визначають структуру шуканої програми мікрогенетичного (внутрішньовидового) рівня.

Генетична модель визначає оптимальну траєкторію синтезу електромагнітної хромосоми, інтегральна інформація якої задовольняє заданій F_S . Зазначена траєкторія визначається відповідною послідовністю інформаційно й генетично взаємопов'язаних

хромосом шести поколінь з наростаючим рівнем генетичної складності:

$${}^3TP\ 0.2y \rightarrow C_{10} \rightarrow C_{22} \rightarrow C_{32} \rightarrow C_{421} \rightarrow C_{521} \rightarrow C_{621}. \quad (10)$$

Генетична модель також містить додаткову інформацію стосовно кількості й рівня складності магнітних систем статора і ротора ЕМ-об'єкта. Результати розшифрування мікрогенетичної програми виду-близнюка ${}^3TP\ 0.2y$ узагальнено в табл. 3.

Аналіз моделі свідчить, що генетична програма магнітних систем із поверхневими розподіленими обмотками надана ієрархією хромосомних рівнів із семи синтезованих хромосом-ізопопів.

За своїм статусом елементарно-інформаційний базис програми містить п'ять хромосом інформаційного типу ($C_{10}, C_{22}, C_{32}, C_{421}, C_{422}$) і три породжувальні хромосоми (C_{21}, C_{521}, C_{621}). Структурні формули хромосом зі статусом породжувальних визначають генетичну інформацію відповідних популяцій магнітних систем:

– з двосторонньою активною поверхнею й внутрішнім дисковим ротором:

$$C_{21} = [({}^3TP\ 0.2y) \times 2(M_{ТП})]_1 \times (TP\ 0.2y)_2; \quad (11)$$

– з двосторонньою активною поверхнею й двома торцевими роторами:

$$C_{521} = [({}^3TP\ 0.2y)_1 \times (M_{ТП})] \times [2(TP\ 0.2y)^{-1} : R_{OZ}]_2; \quad (12)$$

– з тристоронньою активною поверхнею й гібридним ротором:

$$C_{621} = [({}^3TP\ 0.2y)_1 \times (M_{ТП}) \times (M_{ЦЛ})] \times \{[2(TP\ 0.2y) : R_{OZ}]^{-1} \times (ЦЛ\ 0.2y)\}_2. \quad (13)$$

Структурна формула хромосоми шостого покоління C_{621} повністю задовольняє інтегральній функції синтезу F_S , за винятком вимоги конкурентоспроможності ($C_S > C_A$), відповідність якої підтверджується на етапі патентування розроблених технічних рішень.

Розв'язання задачі синтезу здійснювалося двома послідовними етапами. На першому етапі з використанням структурного рівняння (13) здійснювався генетичний синтез і візуалізація структури C_{621} у межах виду-близнюка ${}^3TP\ 0.2y$, яка задовольняє вимогам F_S .

Процедура синтезу наступного етапу включала генерацію структур-гомологів з використанням методу групового синтезу на основі перетворень (5). Теоретичну основу методології групового синтезу становить закон гомологічних рядів та елементарний базис і моделі «ідеальних» гомологічних рядів джерел-ізопопів.

У процедурі синтезу хромосома $C_{621} = {}^3S_{TP}$ виконувала функцію породжувальної. Це означає, що, застосовуючи функцію гомеоморфного перетворення відносно довільного елемента ряду (наприклад, для ${}^3S_{TP}$), у межах топологічного простору підгрупи ${}^3H_{0.2y}$, можна отримати наступну послідовність гомологічних структур:

$$f_H({}^3S_{TP}) \rightarrow ({}^3S_{CL}, {}^3S_{KN}, {}^3S_{PL}, {}^3S_{TP}, {}^3S_{SF}, {}^3S_{TC}) \subset {}^3H_{0.2y}. \quad (14)$$

Таблиця 3 – Результати розшифрування мікрогенетичної програми структуроутворення магнітних систем з поверхневими розподіленими обмотками виду-близнюка ${}^3\text{ТП } 0.2y$

Хромосома	Структурна формула хромосоми	Статус хромосоми	Коефіцієнт K_{AI}
C_{01}	${}^3\text{ТП } 0.2y$	Батьківська, ізопоп	—
C_{10}	$({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times (\text{ТП } 0.2y)_2$	Парна (внутрішньородовий просторовий гібрид), інформаційна	—
C_{21}	$[({}^3\text{ТП } 0.2y) \times 2(M_{\text{ТП}})]_1 \times (\text{ТП } 0.2y)_2$	Парна, ізопоп ($N_a = 2$) з внутрішньою вторинною хромосомою ($N_2 = 1$), породжувальна	0,8
C_{22}	$({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times [(\text{ТП } 0.2y)_2]^{-1}$	Ізопоп із зовнішньою інверсною вторинною хромосомою ($N_2 = 1$), інформаційна	—
C_{32}	$({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times [2(\text{ТП } 0.2y)_2]^{-1}$	Реплікатор ($k_r = 2$), інформаційна	—
C_{421}	$({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times [2(\text{ТП } 0.2y)_2 : R_{OZ}]^{-1}$	Ізомер ($N_a = 2$) із зовнішніми аксіальними вторинними хромосомами ($N_2 = 2$), інформаційна	—
C_{422}	$({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times [2(\text{ТП } 0.2y)_2 : R_{OY}]^{-1}$	Ізомер ($N_a = 2$) із зовнішніми радіальними вторинними хромосомами ($N_2 = 2$), інформаційна	—
C_{521}	$[({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times (M_{\text{ТП}})] \times [2(\text{ТП } 0.2y)_2 : R_{OZ}]^{-1}$	Парна ($N_a = 2$) з аксіальними вторинними хромосомами ($N_2 = 2$), породжувальна	0,8
C_{621}	$[({}^3\text{ТП } 0.2y)_1 \times (M_{\text{ТП}}) \times (M_{\text{ЦЛ}})] \times \{[2(\text{ТП } 0.2y) : R_{OZ}]^{-1} \times (\text{ЦЛ } 0.2y)\}_2$	Ізопоп ($N_a = 3$) з гібридною вторинною хромосомою ($N_2 = 3$), породжувальна	1,0

Примітка: N_a – кількість активних поверхонь; N_2 – кількість елементарних роторів; R_{OZ} – оператор реплікації за радіальним напрямом; k_r – коефіцієнт реплікації

Ряду (14) ставляться у відповідність структурні варіанти магнітних систем асинхронних двигунів з розподіленими обмотками-близнюками й гібридними роторами:

$${}^3S_{CL} = {}^3(\text{ЦЛ } 0.2y)_1 \times (2\text{ЦЛ}02y \times \text{ТП}02y)_2; \quad (15)$$

$${}^3S_{KN} = {}^3(\text{КН } 0.2y)_1 \times (2\text{КН}02y \times \text{ТП}02y)_2; \quad (16)$$

$${}^3S_{PL} = {}^3(\text{ПЛ } 0.2y)_1 : (3\text{ПЛ}02y)_2; \quad (17)$$

$${}^3S_{TP} = {}^3(\text{ТП } 0.2y)_1 \times (2\text{ТП}02y \times \text{ЦЛ}02y)_2; \quad (18)$$

$${}^3S_{SF} = {}^3(\text{СФ } 0.2y)_1 \times (2\text{СФ}02y \times \text{ТП}02y)_2; \quad (19)$$

$${}^3S_{TC} = {}^3(\text{ТЦ } 0.2y)_1 \times (2\text{ТЦ}02y \times \text{ЦЛ}02y)_2. \quad (20)$$

Слід зазначити, що, відповідно до (4), варіанти магнітних систем (14)–(19) можна надати також еквівалентним рядом структур з просторовою інверсією їх активних частин. Достовірність генетичної програми підтверджується постановкою еволюційних експериментів, за результатами яких виявлено технічні рішення, які належать до об'єктів-близнюків з генетичними формулами (15), (17), (18). Структури ЕМ-об'єктів з формулами (16), (19), (20) відповідають статусу неясних (ще відсутніх на даний час технічної еволюції) і становлять результат передбачення.

Практична реалізація. Результати генетичного синтезу виконують системну основу для інформаційного забезпечення пошукових процедур, створення конструкторських баз даних, а також виконують роль когнітивних і візуальних підказок для розробки конкурентоспроможних технічних рішень, спрямованих на покращення питомих показників ЕМ-об'єктів.

На підставі отриманих структурних формул здійснено розробку технічних рішень магнітних систем асинхронних двигунів з тристоронньою активною поверхнею й гібридним ротором, представники яких показано на рис. 5.

Незалежно від видової приналежності, до складу системних ознак структур-нащадків, наданих рівняннями (14)–(19), належать:

- наявність поверхневої розподіленої обмотки-близнюка;
- електромагнітна й топологічна еквівалентність обмоток;
- наявність тристоронньої активної поверхні статора;

- двопакетне виконання магнітопроводу статора;
- гібридна конструкція ротора (за винятком магнітних систем з плоскою активною поверхнею ${}^3S_{PL}$, для яких структура вторинної частини вироджується у відповідний варіант ізомерної композиції).

Технічна реалізація тристоронньої активної зони здійснюється шляхом оптимізації магнітної системи, що забезпечує повне використання ділянок активної поверхні обмотки, які не задіяні у створенні основного магнітного потоку. Із цією метою магнітопровід статора виконано двопакетним, з ортогональною орієнтацією пазів в основному й додатковому елементарних пакетах, а на валу закріплено додатковий ротор, активна поверхня якого ортогональна відносно активних поверхонь двостороннього ротора (рис. 5).

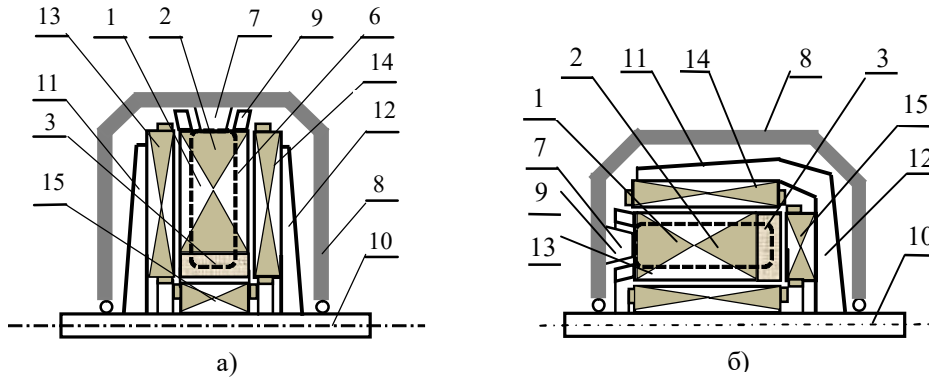


Рисунок 5 – Приклади синтезованих структур АД з розподіленими обмотками-близнюками ($N_a = 3, N_2 = 3$): а) з тороїдальною активною поверхнею (${}^3S_{TP}$); б) з циліндричною активною поверхнею (${}^3S_{CL}$); 1) статор; 2) магнітопровід індуктора; 3) додатковий пакет магнітопроводу статора; 4) розподілена обмотка з П-подібними секціями; 5) кронштейн кріплення статора; 6) корпус; 7) лобові частини обмотки; 8) вал; 9) кронштейни кріплення ротора; 10, 11, 12) пакети гібридного ротора

За результатами розшифрування генетичних програм і синтезу обмоток-двійників розроблено низку нових конструкцій електричних машин і електромеханічних дезінтеграторів із підвищеною ефективністю використання активного об'єму (рис. 6) [15–18].

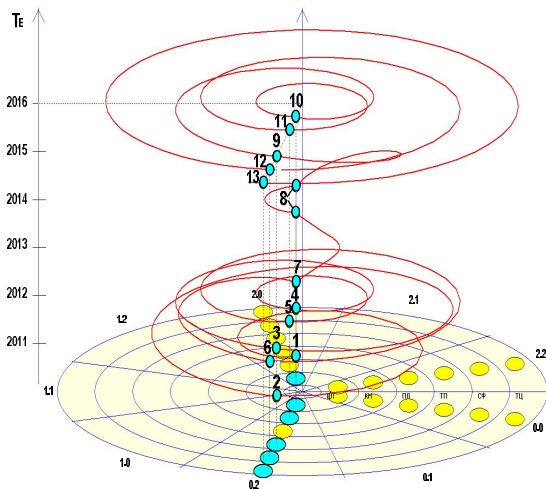


Рисунок 6 – Еволюційна траєкторія ($T_E = 5$ років), що відтворює процес цілеспрямованого введення у структурну еволюцію електромеханічних об'єктів з обмотками-близнюками (підгрупа ${}^3G_{02y}$)

Застосування таких обмоток дозволяє підвищити питомі енергетичні показники електричних машин та електромеханічних пристроїв за рахунок раціонального використання активної поверхні й зменшення електричних втрат у неробочих ділянках обмотки статора.

За результатами синтезу створено генетичний банк даних, який містить систематизовану інформацію стосовно допустимої різноманітності структур

магнітних систем з поверхневими обмотками-близнюками.

Результати досліджень можна розглядати як конкретний приклад реалізації сценарію переходу від концепції еволюції, що спостерігається, до стратегії керованої еволюції технічних об'єктів на основі використання інноваційного потенціалу їх генетичних програм (рис. 6). Такий підхід дозволяє суттєво зменшити часові й матеріальні витрати на етапах пошукових досліджень і створює умови для розробки методології генетичного проектування складних технічних систем з електромеханічними перетворювачами енергії.

ВИСНОВКИ. Принципи структуроутворення магнітних систем електричних машин з багатофазними розподіленими обмотками-близнюками визначаються топологічними властивостями й генетичною інформацією первинних джерел-ізотипів відповідних поколінь, наданих у предметній області генетичної класифікації.

1. Теоретично доведено й експериментально підтверджено наявність інформаційної відповідності між генетичними кодами первинних джерел-ізотипів і генетичною інформацією магнітних систем з розподіленими обмотками-близнюками, які створюються в процесі технічної еволюції.

2. Уперше визначено макрогенетичну програму джерел-ізотипів третього покоління ${}^3G_{02y}$, за результатами якої здійснено передбачення нових, топологічно-еквівалентних видів обмоток-близнюків зі схильністю до максимального використання їх активної поверхні.

3. За результатами генетичного синтезу створено генетичний банк даних магнітних систем з поверхневими обмотками-близнюками, які за критерієм ефективного використання активної поверхні є конкурентоспроможними відносно аналогічних систем з обмотками кільцевого типу.

4. Практична реалізація результатів досліджень підтверджена розробкою оригінальних техні-

чних рішень магнітних систем електричних машин та електромеханічних дезінтеграторів з обмотками-близнюками, технічні рішення яких уперше синтезовано за генетичними програмами електромагнітних джерел-ізоопів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Эбелинг В., Энгель А. Физика процессов эволюции. Синергетический подход. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
2. Gibson D.G., Glass J.I., Lartigue C. et al. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome // *Science*. – 2010. – Iss. 329 (5987). – PP. 52–56.
3. Акимов С.В. Анализ проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза // Доклады ТУСУРа. – Вып. 2/2011 (24), часть 2. – С. 204–211.
4. Степанов А.В. О современном уровне компьютерного решения задач структурного синтеза механизмов // Теория механизмов и машин. – 2011. – Вып. 1. – Т. 9. – С. 25–32.
5. Божко А.Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – Вып. 9. – С. 1–12.
6. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
7. Shynkarenko V. Genetic programs of developing man-made systems as a source of system information about the problems of the past and future // Material of Workshop “Information Security – International Training Workshop”. – Kyiv, 2014. – PP. 34–46.
8. Гольдберг О.Д., Свириденко С.И. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 431 с.

9. Копылов И.П., Маринин Ю.С. Тороидальные двигатели. – М.: Энергия, 1971. – 96 с.
10. А. св. СССР, № 1686621, Н02К 9/04. Асинхронный электродвигатель / М.Ф. Уткин, Л.Н. Макаров, Т.А. Ахунов и др. – Заявл. 19.07.89, Бюл. № 39.
11. А. св. СССР, № 2051459, Н02К 17/30. Мотор с кольцевой обмоткой / В.А. Дартау. – Заявл. 22.07.92, Бюл. № 36.
12. А. св. СССР, № 905950, Н02К 29/02. Вентильный электродвигатель-маховик с электромагнитным подвесом ротора / Е.Н. Баранов. – Заявл. 07.05.80, Бюл. № 6.
13. Гришин В.Н., Кановей В.Г. О работах о дескриптивной теории множеств в МИАНе // Труды Математического института АН СССР. – 1988. – Т. 182. – С. 224–244.
14. Прасолов В.В. Наглядная топология. – М.: МЦНМО, 1995. – 113 с.
15. Патент України № 57139, МПК Н02К 41/025, В 01F 13/09. Електромеханічний дезінтегратор / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Шиманська, В.В. Лисак. – Опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.
16. Патент України № 64345, МПК F03D1/00, Н02К 1/27/ «Вітроагрегат» / В.Ф., Шинкаренко, В.В. Чумак, Ю.В. Гайдаєнко, О.Л. Мірошник. – Опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21.
17. Патент України № 97572, МПК Н02К 41/025, В01F 13/08. Електромеханічний дезінтегратор / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Шиманська, В.В. Лисак. – Заявка № а 201009460 від 28.07.2010; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.
18. Патент України № 70454, МПК В01F 13/08. Електромеханічний пристрій для технологічної обробки матеріалів / В.Ф. Шинкаренко, М.О. Реуцький, В.В. Лисак, М.М. Новікова. – Заявка № у 201114462 від 06.12.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.

SYNTHESIS OF MAGNETIC SYSTEMS WITH DISTRIBUTED TWIN WINDINGS
BASED ON ANALYSIS OF THEIR GENETIC PROGRAMS

V. Shynkarenko, V. Kotlyarova, A. Shymanska

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
prosp. Peremohy, 36, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: svf46@voliacable.com

Purpose. The purpose of the work is to determine the genetic programs of formation and synthesis of new classes of distributed twin windings at example of the surface winding type for a given function synthesis. **Methodology.** The methodology of the work including: the problem of synthesis while creating complex technical systems with electromechanical energy converters is analyzed; genetic programs key importance of structure creation in search researches of new magnetic systems with distributed twin windings is shown; genetic nature of electromagnetic structures isotopy is analyzed and its structure-information connection with technic evolution of twin electromechanic objects is revealed; the principles of the distributed winding twin species structure forming are discovered; the primary isotope structures of third generation were used as example of surface twin windings macrogenetic program decryption. The innovative potential of the surface twin windings was identified. Using of genetic modelling results the synthesis of electromagnetic systems twin species windings was made. By research results original magnetic systems of electric machines and electromechanic desintegrators with twin windings were developed. Remained technical solutions were synthesized while their electromagnetic isotope sources genetic programs for the first time. **Originality.** The originality of the work is determined by statement, that isotope sources third generation ${}^3G_{02y}$ macrogenetic program was determinate for the first time and species of twin windings with maximum using of their active surface predisposition were predicted while remain macrogenetic program. **Practical value.** The practice value are: genetic data bank of magnetic systems with distributed twin windings which are competitive with circulate type windings systems while active surface effective using criteria was created by genetic synthesis results; practical implementation of researches is confirmed by electric

machines and electromechanic desintegrators with twin windings original technic projects creation which are syntezed by genetic programs of electromagnetic isotope sources for the first time. **Results.** *The main results of the work* can be generalized by such statements: structure creations principles of electric machines magnetic systems with distributed twin windings are determinate by topological properties and genetic information in accordance of primary isotope sources generations, which are submitted in the genetic classification subject area; existence of accordance between primary isotope sources genetic codes and magnetic systems with distributed twin windings genetic information is theoretically approved and experimentally confirmed.

Key words: electromagnetic isotope sources, genetic program, structural prediction, innovative synthesis, distributed twin winding.

REFERENCES

1. Ebelynh, V. (2001), *Fyzyka protsessov evolyutsyy. Synerhetycheskyi podkhod* [The physics of the processes of evolution. Synergetic approach], Editorial, Moscow. (in Russian)
2. Gibson, D.G., Glass, J.I., Lartigue, C. et al. (2010), "Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome", *Science*, Vol. 329, no. 5987, pp. 52–56.
3. Akymov, S.V. (2011), "Analysis of the problems of automation of structurally-parametrical synthesis", *Doklady TUSUR*, Vol. 2, no. 24, pp. 204–211. (in Russian)
4. Stepanov, A.V. (2011), "On the present level of computer solving problems of structural synthesis of mechanisms", *Teoriya mekhanizmov i mashyn*, no. 9, pp. 25–32. (in Russian)
5. Bozhko, A.N. (2010), "Structural Synthesis on the elements with the limited combinability", *Nauka i obrazovanye: nauchnoe izdanye MVTU im. N.E. Bauman*, no. 9, pp. 1–12. (in Russian)
6. Shynkarenko, V.F. (2002), *Osnovy teorii evoliutsii elektromekhanichnykh system* [Basic theory of evolution of electromechanical systems], Naukova dumka, Kyiv. (in Ukrainian)
7. Shynkarenko, V.F. (2014), Genetic programs of developing man-made systems as a source of system information about the problems of the past and future, *Material of Workshop "Information Security – International Training Workshop"*, Kyiv, pp. 34–46.
8. Goldberg, O.D. (2008), *Proektyrovanye elektrycheskykh mashyn* [Design of electrical machines], Vysshaya shkola, Moscow. (in Russian)
9. Kopylov, Y.P. (1971), *Toroydalnye dvyghately* [Toroidal engines], Energiya, Moscow. (in Russian)
10. Utkyn, M.F., Makarov, L.N., Akhunov, T.A. et al. (1991), Author's certificate no. 1686621, H02K 9/04. *Asynkhronniy elektrodvygatel* [Asynchronous Motor], it was stated 19.07.89, Bull. № 39. (in Russian)
11. Dartau, V.A. (1995), Author's certificate № 2051459, H02K 17/30, *Motor s koltsevoy obmotkoy* [Engine with circular winding], it was stated 22.07.92, Bull. № 36. (in Russian)
12. Baranov, E.N. (1982), Author's certificate № 905950, H02K 29/02, *Ventylniy elektrodvyghatel-makhovyk s elektromaghnym podvesom rotora* [Valve motor-flywheel rotor with electromagnetic suspension], it was stated 07.05.80, Bull. № 6. (in Russian)
13. Gryshyn, V.N. and Kanovey, V.G. (1988), "On the work of the descriptive theory of the set, the sets, made in MIAS", *Trudy Matematycheskogo instituta AN SSSR*, Vol. 182, pp. 224–244 (in Russian)
14. Prasolov, V.V. (1995), *Naglyadnaya topologiya* [Transparent topology], MCNMO, Moscow. (in Russian)
15. Shynkarenko, V.F., Shymanskaya, A.A. and Lysak V.V. (2006), *Patent Ukrainy № 57139, MPK N02K 41/025, V 01F 13/09, Elektromekhanichnyi dezintehrator* [Electromechanical disintegrator], it was published 10.02.2011, Bull. no. 3. (in Ukrainian)
16. Shynkarenko, V.F., Chumak, V.V., Gaydayenko, Ju.V. and Miroshnyk, O.L. (2011), *Patent Ukrainy № 64345, MPK F03D1/00, N02K 1/27/Vitroagregat* [Wind machine], it was published 10.11.2011, Bull. no. 21. (in Ukrainian)
17. Shynkarenko, V.F., Shymanska, A.A. and Lysak, V.V. (2012), *Patent Ukrainy № 97572, MPK N02K 41/025, V01F 13/08. Elektromekhanichnyi dezintehrator* [Electromechanical disintegrator], Application no. 201009460 from 28.07.2010, it was published 27.02.2012, Bull. no. 4. (in Ukrainian)
18. Shynkarenko, V.F., Reutskyi, M.O., Lysak, V.V. and Novikova, M.M. *Patent Ukrayiny № 70454, MPK V01F 13/08, Elektromekhanichnyi prystriy dlya tekhnologichnoyi obrobky materialiv* [Electromechanical device for material processing technology], Application no. u 201114462 from 06.12.2011, it was published 11.06.2012, Bull. no. 11. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 17.02.2017.