

## МЕТОД ИННОВАЦИОННОГО СИНТЕЗА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧАХ С НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

*Викладено стратегію спрямованого пошуку нових різновидів електромеханічних об'єктів за заданою функцією цілі, за умови відсутності структури-прототипу. Сформульовано і доказано теорему міжгрупових відповідностей породжувальних елементів, що належать до різних груп і періодів. Розроблено метод інноваційного синтезу електромеханічних структур і наведено результати його практичної апробації.*

*Изложена стратегия направленного поиска новых разновидностей электромеханических объектов по заданной функции цели, при отсутствии структуры-прототипа. Сформулирована и доказана теорема межгрупповых соответствий порождающих элементов, принадлежащих к различным группам и периодам. Разработан метод инновационного синтеза электромеханических структур и приведены результаты его практической апробации.*

### ВВЕДЕНИЕ

Задачи направленного поиска и синтеза новых структурных разновидностей электромеханических объектов и систем по заданной функции цели относятся к одной из наименее исследованных и слабо обеспеченных в научно-методическом аспекте областей знаний [1]. Поисковые задачи такого уровня сложности относятся к классу трудноформализуемых и традиционно решаются с помощью эвристических методов, которые не обеспечивают полноту поиска и тем самым не гарантируют выбор оптимального варианта структуры. Как известно, ошибки, допущенные на этапе выбора структуры создаваемой системы, в дальнейшем, не могут быть исправлены ни привлечением высокоточных моделей, ни сложностью используемого математического аппарата, и приводят в итоге к созданию неконкурентоспособных или нежизнеспособных систем. Поэтому задачи теоретического обоснования и разработки новых методологических подходов, обеспечивающих направленный поиск и синтез новых структур электромеханических систем (ЭМ-систем), с гарантированной полнотой представления информации, относятся к актуальному направлению структурной электромеханики.

Одним из наиболее эффективных методологических подходов при решении поисковых задач подобного типа являются методы, основанные на использовании закона гомологических рядов (ЗГР) [2]. Закон гомологических рядов относится к категории общесистемных законов, обладающих мощным прогностическим потенциалом. Практическое использование этого потенциала в структурной электромеханике стало возможным после открытия периодической структуры Генетической классификации (ГК) первичных источников электромагнитного поля (Порождающей системы) и создания на ее основе теории генетической эволюции структурного разнообразия электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) [2]. Закон устанавливает связь между наследственными процессами внутривидового структурообразования, развивающейся во времени системы, и генетически родственными (по электромагнитным и топологическим свойствам) видами, принадлежащими к различным родам ЭМПЭ. Наличие такого соответствия между элементарным базисом Порождающей периодической системы, с одной стороны, и реальными макро- и микро-

эволюционными процессами структурообразования, с другой, открывает возможность постановки и решения широкого круга задач синтеза, с использованием прогностической функции ЗГР.

На данное время наибольшее развитие получили разработанные авторами методы макрогенетического синтеза и анализа [3, 4], использующие в качестве исходной, информацию известной структуры-прототипа, содержащей основные признаки искомого объекта. Однако, в рамках технологии структурного предвидения и синтеза принципиально новых структур, прототипы или информация о близких разновидностях искомого электромеханического объекта (ЭМ-объекта) могут отсутствовать либо представляться фрагментарными признаками нескольких отдаленных аналогов. В этом случае задача поиска существенно усложняется.

Целью данной статьи является научное обоснование и разработка метода направленного синтеза новых разновидностей электромеханических структур (ЭМ-структур), исходная информация которых представлена в нечетком виде.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В задачах инновационного синтеза возникают ситуации, когда целевая функция содержит существенные признаки, относящиеся к объектам различных гомологических групп и принадлежащие к различным геометрическим классам. В этом случае известные методы не дают прямого решения поисковой задачи, так как каждый объект в отдельности и его гомологический ряд не обладают совокупностью необходимых признаков.

Поэтому задачу исследования в обобщенном виде можно сформулировать следующим образом: по заданной целевой функции  $F_{Ц}$ , содержащей генетически идентифицируемые признаки, относящиеся к объектам негомологичных видов, и имеющих различную родовую принадлежность, определить оптимальную стратегию поиска ЭМ-объектов, удовлетворяющих  $F_{Ц}$ .

### ТЕОРЕМА МЕЖГРУППОВЫХ СООТВЕТСТВИЙ

С учетом того, что известные методы не дают прямого решения поставленной задачи, возникает необходимость теоретического обоснования возможности ее решения. Так как порождающие структуры произвольных ЭМ-объектов наделены генетической ин-

формацией и упорядочиваются периодической структурой ГК, указанное обоснование будем искать на элементарном уровне, используя инвариантные свойства ГК [2], в виде доказательства следующей теоремы: для двух произвольных порождающих структур (родительских электромагнитных хромосом)  $S_{A2}$  и  $S_{D5}$ , которые относятся к различным группам и принадлежат к различным периодам в структуре ГК, существует две другие порождающие структуры  $S_{A5}$  и  $S_{D2}$ , генетические коды которых содержат составляющие генетической информации исходных структур  $S_{A2}$  и  $S_{D5}$ .

### ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Местоположение источника поля в периодической структуре ГК однозначно определяется соответствующими составляющими универсального генетического кода [2]. Буквенная составляющая кода определяет его принадлежность к малому периоду, а цифровая составляющая указывает на его принадлежность к соответствующей группе. Индекс  $x$  или  $y$  (третья составляющая кода) определяет принадлежность источника поля к соответствующей подгруппе.

Таким образом, для некоторого исходного элемента  $S_{A2}$  (рис. 1) можно записать:

$$S_{A2} \in G_2, i = \overline{1, n}, \quad S_{A2} \in P_A, j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где  $n$  – общее количество групп;  $m$  – число малых периодов в структуре первого большого периода ГК.

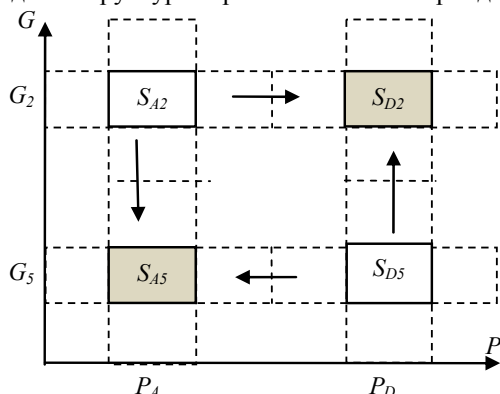


Рис. 1. Геометрическая интерпретация информационных соответствий между негомологичными элементами групп и периодов в периодической структуре ГК.

$S_{A2}, S_{D5}$  – порождающие (информационные) структуры;  
 $S_{D2}, S_{A5}$  – искомые структуры

Аналогичными свойствами будет обладать и родительская хромосома  $S_{D5}$ , несущая признаки группы  $G_5$  и малого периода  $P_D$ :

$$S_{D5} \in G_2, i = \overline{1, n}, \quad S_{D5} \in P_D, j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Наличие закономерной взаимосвязи негомологичных элементов со свойствами групп и малых периодов позволяет получить два важных следствия:

- произвольный период  $P_j$  содержит элементы всех групп и подгрупп;
- произвольная группа  $G_i$  состоит из упорядоченного набора элементов, представляющих все малые периоды.

Исходя из групповых свойств, группа  $G_2$  содержит следующую упорядоченную последовательность элементов:

$$\langle S_{A2}, S_{B2}, S_{C2}, S_{D2}, \dots, S_{n2} \rangle \subset G_2, \quad (3)$$

Аналогичный элементный состав содержит группа  $G_5$ :

$$\langle S_{A5}, S_{B5}, S_{C5}, S_{D5}, \dots, S_{n5} \rangle \subset G_5. \quad (4)$$

Если же анализ порождающих структур осуществить по их принадлежности к периодами, то получим следующие соотношения:

$$\langle S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}, S_{A5}, \dots, S_{Am} \rangle \subset P_A, \quad (5)$$

$$\langle S_{D2}, S_{D3}, S_{D4}, S_{D5}, \dots, S_{Dm} \rangle \subset P_D. \quad (6)$$

Как следует из анализа элементов групп (3) и (4), в состав группы  $G_2$  входит элемент  $S_{D2}$ , топологически эквивалентный исходному элементу  $S_{A2}$ . Это означает, что элементы  $S_{A2}$  и  $S_{D2}$  принадлежат к одному топологическому пространству, т.е. обладают топологически эквивалентными свойствами (связностью и ориентируемостью), а также общностью электромагнитной симметрии, что отображается идентичностью цифровой составляющей их генетических кодов. Аналогичными свойствами характеризуются гомологичные источники  $S_{A5}$  и  $S_{D5}$ , относящиеся к группе  $G_5$ .

Исходя из анализа соотношений (5) и (6), структура периода  $P_A$  содержит информационный элемент  $S_{A2} \in G_2$  и искомый элемент  $S_{A5} \in G_5$ , относящиеся к одному геометрическому классу источников поля. Это означает, что структура их генетических кодов содержит идентичную геометрическую информацию. Аналогичные соотношения существуют между исходным элементом  $S_{D5}$  и элементом  $S_{D2}$ , входящими в структуру периода  $P_D$ .

Обобщая результаты анализа, можно констатировать, что генетические коды порождающих структур  $S_{A2}, S_{A5}$ , а также  $S_{D2}, S_{D5}$ , будут характеризоваться общностью геометрической информации, а коды структур  $S_{A2}, S_{D2}$ , а также  $S_{A5}$  и  $S_{D5}$ , будут содержать идентичные составляющие генетической информации, отображающие общность их топологических и электромагнитных свойств. Таким образом, генетическая информация электромагнитных структур  $S_{A5}$  и  $S_{D2}$  будет определяться составляющими генетических кодов исходных хромосом  $S_{A2}$  и  $S_{D5}$ , что и требовалось доказать.

### ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРЕМЫ НА ОБЪЕКТНЫЙ И СИСТЕМНЫЙ УРОВНИ

Полученные результаты нетрудно обобщить на более сложные уровни структурной организации ЭМ-систем. В соответствии с принципом сохранения генетической информации [2], признаки порождающих элементов инвариантны относительно уровня сложности, времени эволюции и функциональной принадлежности структур-потомков. При этом неизменность топологических свойств элементов в группах ГК, в процессе структурной эволюции отображается соответствующими гомологическими рядами, а генетический принцип формообразования структур в пределах периодов, на эволюционном уровне проявляется соответствующими геометрическими классами (родами) ЭМ-объектов (табл.1).

Поэтому межгрупповые соответствия элементарных структур, отображаемые их генетической информацией, будут сохраняться и на более высоких уровнях структурной организации (объектном, популяционном, видовом, системном).

Взаимосвязь уровней структурной организации электромеханических систем

Генетический (составляющие генетического кода первичного источника поля)	Элементный (периодическая структура Генетической классификации)	Объектный (функциональный класс ЭМ-объектов)	Системный (таксономическая структура геносистематики)
$(a_2, a_3,)$	Группа	Гомологический ряд объектов	Ряд гомологических видов
$(a_1)$	Период	Геометрический класс	Род
$(a_1, a_2, a_3,)$	Элемент (родительская электромагнитная хромосома)	Вид	Вид

В соответствии с теоремой, для заданной  $F_{Ц}$ , пространство поиска на элементном уровне локализуется с точностью до двух порождающих структур  $S_{A5}$  и  $S_{D2}$ , которые определяются пересечением подмножеств первичных элементов соответствующих гомологических рядов  $H$  и родов  $G$ :

$$S_{A5} = G_A \cap H_5, \quad (7)$$

$$S_{D2} = H_2 \cap G_D, \quad (8)$$

В соответствии с теоремой, для заданной  $F_{Ц}$ , в каждом из двух произвольных гомологичных рядов ЭМ-объектов, порождающие структуры которых принадлежат к различным группам, имеют место два объекта, принадлежащие к одному роду. Для случая, когда исходные признаки относятся к объектам соседних подгрупп, такие объекты в пределах одного рода будут удовлетворять принципу парности.

На системном уровне искомые структуры определяются как родственные виды, определяемые пересечением рядов гомологичных видов и геометрически эквивалентных видов соответствующих родов. В каждом из двух произвольных родов существуют два гомологичных вида. Но так как искомые структуры  $S_{A5}$  и  $S_{D2}$  относятся к разным группам и к разным родам, конкретной задаче поиска всегда будет удовлетворять только одна из них, которая соответствует заданной  $F_{Ц}$ .

#### МЕТОД МЕЖГРУППОВОГО СИНТЕЗА

Результаты доказательства теоремы межгрупповых соответствий позволяют предложить метод направленного синтеза ЭМ-структур для случая, когда целевая функция поиска  $F_{Ц}$  содержит набор существенных признаков, принадлежащих к различным генетически определенным, но негомологичным объектам. Тогда задача синтеза заключается в нахождении генетически определенной структуры  $S_{AC}$ , удовлетворяющей заданной целевой функции  $F_{Ц}$ .

В общем случае, предлагаемый метод содержит выполнение следующей последовательности процедур:

- определение целевой функции поиска  $F_{Ц}$ ;
- преобразование существенных признаков в генетическую информацию;
- идентификацию генетических кодов информационных структур;
- определение местоположения информационных хромосом в периодической структуре ГК;
- определение глобальной области поиска (соответствующих групп и периодов);
- определение двух порождающих структур в ор-

тогональных подпространствах поиска;

- определение порождающей структуры, удовлетворяющей заданной  $F_{Ц}$ ;
- синтез генетической модели видообразования (с учетом заданных ограничений);
- расшифровку генома и определение генетически модифицированных структур-конкурентов (при необходимости);
- синтез и оптимизацию вариантов технических решений;
- определение уровня конкурентоспособности синтезированного ЭМ-объекта;
- принятие решения.

Синтезированная структура выполняет функцию порождающей по отношению к множеству структур-потомков соответствующего вида ЭМ-объектов. Это означает, что дополнительную информацию по родственным структурным вариантам ЭМ-объекта, при необходимости, можно получить по результатам внутривидового синтеза с использованием соответствующих генетических операторов синтеза.

Следует отметить, что искомая структура будет обладать гарантированным эмерджентным свойством (системным эффектом) по отношению к исходным структурам-аналогам. Свойство эмерджентности, сформулированное на этапе постановки задачи, подтверждается путем сравнительного анализа генетической информации синтезированной структуры с генетической информацией информационных структур-аналогов. Наличие новой совокупности признаков, удовлетворяющих заданной целевой функции, составляет основу для разработки конкурентоспособных технических решений.

#### ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ МЕТОДА

Метод межгруппового синтеза реализован при решении ряда поисковых задач инновационного характера. В качестве примера, рассмотрим задачу синтеза нового поколения энергосберегающих электромеханических дезинтеграторов (ЭМД), предназначенных для производства нанодисперсных порошков.

ЭМД относятся к новому классу высокоэффективных электромеханических преобразователей, открытие и создание которых осуществляется на основе использования технологии структурного предвидения [4, 5]. ЭМД, созданные авторским коллективом, нашли применение в технологиях по непосредственному осуществлению и интенсификации различных технологических процессов: тонкого и сверхтонкого измельчения, гомогенного перемешивания, производ-

Сравнительный анализ генетических кодов

Информационная структура $S_{ЦЛ}$	Информационная структура $S_{ПЛ}$	Искомая структура
$ЦЛ 0.2y$	$2(ПЛ 2.2y)^{-1}$	$ПЛ 0.2y$

ства порошков для металлургии, производства многокомпонентных топливных смесей, композитных материалов, ускорения химических реакций, осуществления биотехнологий и др. Структурная эволюция рассматриваемого класса устройств осуществляется направленно, по мере необходимости решения возникающих прикладных задач.

Исходные требования, предъявленные заказчиком, содержали совокупность следующих основных требований: 1) обеспечение требуемого уровня дисперсии выходного материала в диапазоне 50 – 100 нм; 2) содержание материалов с заданной дисперсией в выходном продукте – не менее 90 %; 3) повышение производительности ЭМД (в 40-50 раз); 4) улучшение энергетических показателей.

Генетический анализ предъявляемых требований показал, что требования п.п. 1 и 2 обеспечиваются режимными свойствами ЭМД, а требования 3 и 4 относятся к категории структурных признаков.

На первом этапе решалась задача преобразования заданных исходных требований (в вербальной форме) в генетическую информацию. Процедуру преобразования можно проиллюстрировать на примере задачи распознавания понятия "производительность" (требование п. 3). Процедуру распознавания можно представить многомерным вектором  $P_3$ , отдельные компоненты которого представляют последовательность логически взаимосвязанных информационных признаков:

$$P_3 = (V \rightarrow L_a \rightarrow N_\tau \rightarrow N_I \rightarrow I_\Sigma \rightarrow G_{ПЛ}), \quad (9)$$

где  $V$  – объем рабочей камеры;  $L_a$  – активная длина индуктора;  $N_\tau$  – количество полюсных делений;  $N_I$  – количество индукторов;  $I_\Sigma$  – инверсия бегущих полей;  $G_{ПЛ}$  – пространственная геометрия активной зоны индуктора.

Информационным признакам  $N_I$ ,  $I_\Sigma$  и  $G_{ПЛ}$  ставятся в соответствие определенные составляющие генетической информации некоторой ЭМ-структуры, относящейся к двухобмоточным плоским ЭМД с инверсными бегущими полями (структурный представитель подвида 2 (ПЛ 2.2y)<sup>-1</sup>).

Аналогичная процедура распознавания генетической информации была произведена по требованию п. 4. Результаты генетического анализа показали, что искомая структура ЭМД должна одновременно обладать структурными признаками однообмоточных ЭМД с симметричной обмоткой и цилиндрической активной зоной (структурный признак вида ЦЛ 0.2y).

Обобщенный анализ генетической информации показывает, что структурные признаки относятся к представителям негомологичных видов, принадлежащих к различным родам (цилиндрических и плоских ЭМД).

На основе полученной информации, в координатах базовых признаков ГК, была локализована область синтеза (рис. 2) и определена порождающая структура, относящаяся к новому базовому виду ПЛ 0.2y, которая удовлетворяет заданной  $F_{Ц}$ . Сравнительный анализ генетических кодов двух информационных и искомой структур показывает, что код синтезированной структуры содержит составляющие генетической информации исходных информационных структур (табл. 2).

Для обеспечения оптимального соотношения основных геометрических размеров и электромагнитных величин необходимо, чтобы длина плоского участка  $L_{ПЛ}$  двусторонней активной зоны индуктора и полюсное деление обмотки  $\tau$  были связаны между собой соотношением:

$$L_{ПЛ} = n \cdot \tau + 2 \cdot (0,5 \cdot \tau) = (n+1) \cdot \tau, \quad (10)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$ , а длина активной зоны на каждом дугообразном участке активной зоны равнялась:

$$L_R = 2 \cdot \tau - 0,5 \cdot \tau = 1,5 \cdot \tau, \quad (11)$$

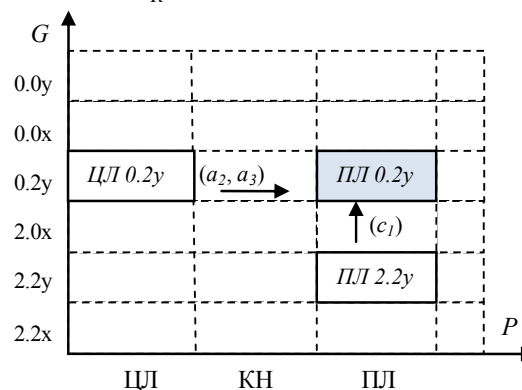


Рис. 2. Локализованное поисковое пространство в задаче инновационного синтеза структуры ЭМД; ЦЛ 0.2y, ПЛ 2.2y – информационные родительские хромосомы; ПЛ 0.2y – порождающая структура, удовлетворяющая заданной  $F_{Ц}$

Однообмоточное исполнение, электромагнитная симметрия и отсутствие продольных концевых электромагнитных эффектов (рис. 3) способствовали уменьшению электрических и дополнительных потерь и, как следствие, повышению энергетических показателей электромеханического преобразователя.

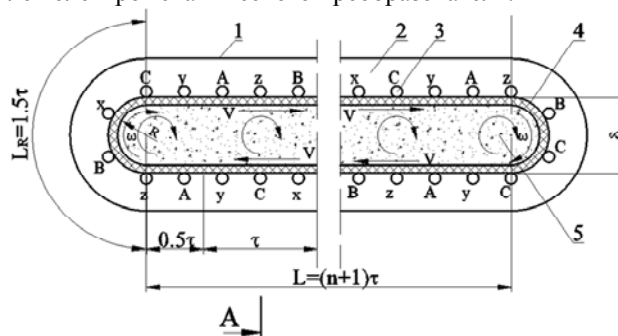


Рис. 3. Синтезированная структура электромеханического дезинтегратора для производства нанопорошков (структурный представитель вида ПЛ 0.2y): 1 – индуктор; 2 – магнитопрод; 3 – обмотка; 4 – рабочая камера; 5 – рабочие тела

С точки зрения систематики класса ЭМД, синтезированная структура является первым структурным представителем нового вида плоских однообмоточных ЭМД с замкнутой, двусторонней активной зоной, сочетающая в себе положительные преимущества

цилиндрических и плоских исполнений ЭМД. Такой вариант исполнения активной части ЭМД гомологичен классическому варианту цилиндрических электрических машин.

На основе синтезированной структуры разработано техническое предложение на создание образца ЭМД, удовлетворяющего совокупности предъявленных требований, с обеспечением патентной новизны [6].

#### ВЫВОДЫ

Результаты исследования можно обобщить следующими основными положениями:

1. Предложена и разработана стратегия направленного поиска ЭМ-структур по заданной функции цели, применительно к классу инновационных задач с нечеткой исходной информацией.

2. На основании анализа инвариантных свойств элементного базиса периодической структуры Генетической классификации, впервые сформулирована и доказана теорема межгрупповых соответствий, устанавливающая детерминированную взаимосвязь между составляющими генетической информации первичных источников электромагнитного поля, относящихся к различным группам и периодам.

3. Исходя из принципа сохранения генетической информации электромагнитной структуры и закона гомологических рядов, осуществлено обобщение теоремы межгрупповых соответствий на объектный и системный уровни структурной организации ЭМ-объектов.

4. По результатам теоретического обоснования разработан новый метод направленного поиска и синтеза ЭМ-объектов, позволяющий осуществлять локализацию области синтеза и определение порождающей структуры искомого объекта, в поисковых задачах с нечеткой исходной информацией.

5. Эффективность разработанного метода подтверждена на примере решения инновационной задачи при разработке инновационного проекта по созданию нового поколения ЭМД, предназначенных для производства нанодисперсных порошков, что позволило обеспечить существенное повышение производительности и улучшение качества выходного продукта, при одновременном повышении энергетических показателей дезинтегратора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
2. Шинкаренко В.Ф. Основы теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
3. Шинкаренко В.Ф., Загирняк М.В., Шведчикова И.А. Макрогенетический анализ и ранговая структура систематики магнитных сепараторов // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2009. – № 5. – С. 33-39.
4. Шинкаренко В.Ф., Безсонов С.А. Еволюційний синтез нових видів електромеханічних перетворювачів енергії технологічного призначення з використанням моделей макроеволюції // *Вісник НТУ "ХПІ"*. Темат випуск № 16. – 2001. – С. 171-173.
5. Шинкаренко В.Ф. Уровни представления знаний и классы решаемых задач в технологии генетического предвидения // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2009. – № 6. – С. 31-36.
6. Патент на корисну модель № 43635. Електромеханічний дезінтегратор, МПК H02K 41/025, B01F13/00 / Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Лисак В.В., Вахновецька М.О., Заявл. 25.03.2009, опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

Поступила 03.08.2010

*Шинкаренко Василь Федорович, д.т.н., проф.,*

*Лисак Вікторія Владиславівна*

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт"

кафедра електромеханіки

03056, Україна, Київ, пр. Перемоги, 37

тел. (044) 406-82-38, e-mail: svf46@volicable.com

*V.F. Shynkarenko, V.V. Lysak*

#### **A method of innovative synthesis of electromechanical objects in search problems with fuzzy initial information.**

A strategy of directed search for new versions of electromechanical objects through a specified objective function in the absence of a prototype structure is introduced. A theorem of intergroup conformity between generating elements belonging to different groups and periods is formulated and proved. A new method of innovative synthesis of electromechanical structures is developed, results of its practical approbation given.

**Key words – directed search, electromechanical structure, theorem of intergroup conformity, method of intergroup synthesis, innovative project.**