

## ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ: ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КЛАССА

Шинкаренко В.Ф., д.т.н., проф., Августинович А.А., Нестыкайло О.С.  
Украина, 03056, Киев – 56, пр-т Перемоги, 37, НТУУ "КПИ", корп. 20, кафедра электромеханики.  
тел./факс (044) 241-76-38; E-mail: ntuukafem@ua.fm

*Визначено область існування і структуру видового складу циліндричних електричних машин поступального руху. Науково обґрунтовано таксономічний статус класу і визначена рангова структура основних систематичних одиниць. Здійснено генетичний аналіз і досліджено властивості видів-двійників циліндричних машин поступального руху.*

*Определена область существования и структура видового состава цилиндрических электрических машин поступательного движения. Научно обоснован таксономический статус класса и определена ранговая структура основных систематических единиц. Осуществлен генетический анализ и исследованы свойства видов-двойников цилиндрических машин поступательного движения.*

### ВВЕДЕНИЕ

Структурная эволюция электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) сопровождается постепенным увеличением численности их видов, дивергентными процессами расширения внутривидового структурного разнообразия и прогрессирующим увеличением объемов сопровождающей информации.

За весь предшествующий период развития структурной электромеханики, наукой изучена лишь незначительная часть структурного потенциала электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ), разрозненная информация о которых до настоящего времени не систематизирована и недоступна большинству специалистов. Структурное разнообразие создаваемых человеком электромагнитных и электромеханических устройств постепенно приближается к разнообразию биологических организмов. Поэтому дальнейшее развитие электромеханической науки невозможно без создания научно обоснованной систематики объектов, которая призвана не только упорядочить информацию о существующем разнообразии электромеханических устройств, но и обеспечить возможность предсказания принципиально новых структурных представителей этого прогрессирующего класса преобразователей энергии.

Увеличение численности функциональных классов и отсутствие системных исследований о расширяющемся видовом разнообразии ЭМПЭ, обуславливают необходимость организации структурно-системных исследований по отдельным структурно-функциональным классам электрических машин (ЭМ). Цель таких исследований состоит в определении четких границ и структуры произвольного функционального класса ЭМ, установлении уровня его эволюционного развития, определения и систематизированного описания видов, а также выявления скрытого структурного потенциала класса. Конечная цель структурно-системных исследований состоит в определении и систематизации всего многообразия порождающих структур ЭМПЭ и создания Национального инновационного банка данных в области структурной электромеханики [2].

Постановка системных задач такого уровня, стала возможной на основе результатов фундаментальных исследований, которые получены в последние годы в области генетической и структурной электромеханики [1].

Данная статья освещает результаты структурно-системных исследований применительно к классу цилиндрических электрических машин (ЦЭМ) поступательного движения. В статье использованы термины и обозначения, общепринятые в генетической теории эволюции сложных систем, определения и пояснения к которым приведены в работе [1].

### ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цилиндрические электрические машины поступательного и возвратно-поступательного движения относятся к хорошо изученному, развивающемуся классу машин, области применения которых постоянно расширяются. Ввиду отсутствия установившейся научной терминологии, в научно-технической литературе структурные разновидности этого класса ЭМ встречаются также под названием коаксиально-линейных (Г.И. Квачев), трубчатых (С.А. Насар, И. Болдеа), линейных машин цилиндрического типа (М.М. Соколов, Л.К. Сорокин), машин возвратно-поступательного перемещения с коротким бегуном (О.Н. Веселовский, М.Н. Годкин) и др. Еще более обширная терминологическая неопределенность имеет место по отношению к названию подвижной части таких машин ("бегун", "ротор", "шток", "вторичный элемент", "якорь", "вторичная часть", "вторичный орган", "реактивный элемент" и др.).

Существующий уровень знаний о принципах формообразования ЭМ основан на концепции существования некоторой обобщенной структуры машины, через которую можно объяснить все остальные. В классической электромеханике в качестве обобщенной формообразующей структуры, чаще всего рассматривается симметричная цилиндрическая ЭМ вращательного движения, через которую предпринимаются попытки трактовать концепцию формообразования всех остальных пространственных разновидностей ЭМ, включая цилиндрические машины поступа-

тельного движения. Однако присущее этому классу машин характерное сочетание таких индивидуальных признаков как: цилиндрическая форма активных поверхностей и воздушного зазора (что свойственно вращающимся машинам), поступательное движение подвижной части (что указывает на их родство с плоскими ЭМ), отсутствие поперечных концевых эффектов (что не свойственно ни машинам вращающегося типа, ни плоским), стало камнем преткновения для исследователей, пытающихся объяснить структурное "родство" ЦЭМ поступательного движения с цилиндрической машиной традиционного исполнения.

Критически анализируя такие попытки Д.В. Свечарник отмечает [4]: "Существует группа линейных машин, для которых трудно найти непосредственных предшественников среди вращающихся машин. Это так называемые линейные двигатели. Даже для цилиндрических асинхронных линейных машин попытка создания этой конструкции из обычной вращающейся асинхронной машины приводит к неслишком убедительным искусственным построениям типа: разрежем по образующей, развернем в плоскость, а затем свернем в трубку с осью, направленной вдоль плоскости перпендикулярно образующей, и т.д. ...".

Исходя из положений генетической теории структурной организации и эволюции ЭМПЭ, структурный потенциал и видовое разнообразие произвольного функционального класса ЭМ определяется ограниченным числом элементарных электромагнитных структур, содержащих инвариантную часть наследственной информации, удовлетворяющей целевой функции класса. Множество порождающих электромагнитных структур, упорядочивается генетической классификацией (ГК) первичных источников электромагнитного поля [1]. Местоположение элементарных структур и их инвариантная информация, определяется соответствующим генетическим кодом. В этом случае, задачи определения области существования произвольного структурно-функционального класса ЭМ приобретают статус детерминированной поисковой процедуры, а результаты их решения составляют основу геномики и эволюционной систематики функционального разнообразия ЭМПЭ [2].

Наличие информации о границах и структуре функциональных классов ЭМ открывает возможность постановки задач направленного синтеза и анализа процессов видообразования с возможностью идентификации генетических структур не только реальных, но и неявных видов, т.е., видов, еще отсутствующих на данном этапе эволюции.

#### ОБЛАСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ КЛАССА

При определении области существования и структуры основных систематических единиц функционального класса ЦЭМ поступательного движения, будем исходить из следующих аксиоматических положений, вытекающих из системных принципов и положений генетической теории эволюции ЭМ-систем [1]:

- вид пространственного движения подвижной части, для генетических (порождающих) структур базового уровня, относится к генетически определен-

ным признакам парной электромагнитной хромосомы (электромеханической пары);

- простые виды движения (вращательное, поступательное и пространственно-концентрическое), реализуются гомологичными электромагнитными хромосомами первого поколения (хромосомами-репликаторами), местоположение и генетическая структура которых ограничена границами первого большого периода ( $\Pi^1$ ) предметной области ГК;

- количественный состав, структура и свойства порождающего множества электромагнитных хромосом инвариантны по отношению к принципу действия, уровню эволюции (структурному разнообразию, сложности, техническому уровню, показателям качества) и функциональному назначению исследуемого класса ЭМПЭ;

- структура порождающего хромосомного набора первого поколения, однозначно определяет структуру базовых видов произвольного функционального класса ЭМ;

- набор гомологичных парных электромагнитных хромосом базового уровня, определяющий структуру видов в пределах произвольного малого периода, з точки зрения геносистематики соответствует понятию идеального рода (т.е., рода, содержащего системную информацию о всех генетически родственных видах), инвариантного к уровню его эволюции;

- структурные представители видов базового уровня являются основой для синтеза и анализа видов ЭМ более высокого уровня сложности (гибридных и совмещенных, как на межродовом, так и на межсистемном уровнях).

Целевой функцией  $F_{Ц}$  исследуемого класса ЦЭМ является способность объектов класса, имеющих цилиндрические активные поверхности, реализовывать поступательное движение подвижной части. Цилиндрическую форму активной поверхности, в данном случае, следует рассматривать как функцию ограничения, накладываемую на область существования  $Q_{ЭМП}$  машин поступательного движения. Как показано в [3], разнообразие ЭМ поступательного движения с твердотельной вторичной частью на генетическом уровне представлено двумя геометрическими классами электромеханических пар

$$Q_{ЭМП} = Q_{Цлн} \cup Q_{Пл} \subset \Pi^1, \quad (1)$$

где  $Q_{Цлн}$ ,  $Q_{Пл}$  - области существования ЭМ поступательного движения цилиндрической и плоской пространственных форм источников в пределах первого большого периода  $\Pi^1$ .

Исходя из принципа сохранения генетической информации источника поля, область существования  $Q_{ЭМ}$  некоторого класса объектов при заданной функции цели  $F_{Ц}$ , в многомерном пространстве базовых признаков ГК, определяется однозначно

$$Q_{ЭМ} = (A_1, A_2, \dots, A_n) \subset \Pi^1 \subset \langle P_{GS} \rangle, \quad (2)$$

$$A_i \in S_i, \quad i = \overline{1, n}$$

где  $A_1, A_2, \dots, A_n$  - порождающие электромагнитные структуры, удовлетворяющие  $F_{Ц}$ ;  $n$  - число родительских хромосом, определяющих генотип класса  $Q_{ЭМ}$ ;  $P_{GS}$  - упорядоченное множество элементов предметной области ГК.

Для исследуемого класса ЦЭМ, область существования  $Q_{Цлн}$  будет ограничена границами первого малого периода ГК, источники поля которого определяют генофонд цилиндрических машин как поступательного, так и вращательного движения ( $\langle Q_{Цлн}, Q_{Цлв} \rangle \subset \Pi^1$ ). Заданной  $F_{Ц}$  и принятым ограничениям удовлетворяет следующая совокупность источников поля:

$$Q_{Цлн} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ЦЛ}0.0x, \\ \text{ЦЛ}0.2y_2, \\ \text{ЦЛ}2.0x, \text{ЦЛ}2.0x_1, \text{ЦЛ}2.0x_3 \\ \text{ЦЛ}2.2x, \text{ЦЛ}2.2x_1, \text{ЦЛ}2.2x_2 \end{array} \right\} \subset \left\{ \begin{array}{l} T_{00} \\ T_{02} \\ T_{20} \\ T_{22} \end{array} \right\} \quad (3)$$

где,  $T_{00}, T_{02}, T_{20}, T_{22}$  – соответствующие топологически-эквивалентные ряды источников в структуре ГК. Таким образом, область существования порождающих структур ЦЭМ поступательного движения, определяется хромосомным набором из 8 родительских хромосом, представляющих генофонд базовых видов и видов-близнецов (порождающие структуры базовых видов выделены полужирным курсивом).

Отличительным признаком элементов порождающего хромосомного набора, является аксиальная ориентация волны поля, которая совпадает с направлением оси симметрии обобщенного источника поля (ЦЛ  $0.0x, y$ ). Этому требованию отвечают 7  $x$ -ориентированных и одна (изотоп ЦЛ  $0.2y_2$ )  $y$ -ориентированная поверхности первичных источников поля.

Обобщая результаты генетического анализа порождающих структур, определяющих границы области  $Q_{Цлн}$ , можно отметить следующее:

- структурный потенциал исследуемого класса ЦЭМ поступательного движения, на генетическом уровне, определяется 8 электромагнитными парными хромосомами с цилиндрическими пространственными формами и аксиальной ориентацией волны поля;

- по виду электромагнитной симметрии источника поля, цилиндрические ЭМ поступательного движения представлены во всех 4-х основных группах структуры ГК: симметричных - **ЦЛ** $0.0x$ ;  $y$ -дисимметричных ( $x$ -симметрия,  $y$ -асимметрия) – ЦЛ  $0.2y_2$ ;  $x$ -дисимметричных ( $x$ -асимметрия,  $y$ -симметрия) - **ЦЛ** $2.0x$ , ЦЛ  $2.0x_1$ , ЦЛ  $2.0x_3$ ); асимметричных (**ЦЛ** $2.2x$ , ЦЛ  $2.2x_1$ , ЦЛ  $2.2x_2$ );

- по геометрическим признакам источников поля область  $Q_{Цлн}$  представлена двумя подклассами ЦЭМ с разомкнутой (ЦЛ  $0.2y_2$ , ЦЛ  $2.0x_1$ , **ЦЛ** $2.2x$ , ЦЛ  $2.2x_1$ , ЦЛ  $2.2x_2$ ) и замкнутой (**ЦЛ** $0.0x$ , ЦЛ  $2.0x_3$ , **ЦЛ** $2.0x$ ) пространственными формами топологически эквивалентных источников поля. Если структурные разновидности ЦЭМ (с твердотельной вторичной частью), синтезированные на разомкнутых электромагнитных поверхностях, способны реализовывать как поступательное, так и возвратно-поступательное движение подвижной части, то потомство машин, полученное на замкнутых поверхностях, может функционировать только в режиме возвратно-поступательного движения.

Присутствие в хромосомном наборе электромагнитной хромосомы  $s_{02y} \in T_{02}$ , указывает на наличие структур ЦЭМ поступательного движения, которые в электромагнитном отношении будут гомологичны структурам вращающихся цилиндрических машин традиционного типа, синтезированных на источнике ЦЛ  $0.2y$ .

Ближайшими структурными эквивалентами порождающих источников поля, образующих область  $Q_{Цлн}$ , являются два равных по мощности подкласса распределенных обмоток - кольцевого  $Q_k$  и поверхностного  $Q_n$  видов:

$$Q_k = (\text{ЦЛ}0.0x, \text{ЦЛ}2.0x, \text{ЦЛ}2.0x_1, \text{ЦЛ}2.0x_3) \subset Q_{Цлн} \quad (4)$$

$$Q_n = (\text{ЦЛ}0.2y_2, \text{ЦЛ}2.2x, \text{ЦЛ}2.2x_1, \text{ЦЛ}2.2x_2) \subset Q_{Цлн} \quad (5)$$

Анализ пространственных форм порождающих источников, представленных в  $Q_k$  и  $Q_n$ , показывает, что часть из них обладает свойством электромагнитной инверсии, т.е., их пространственная форма образует две активных поверхности со встречной ориентацией бегущих волн поля. Электромагнитная инверсия – топологическое свойство поверхностей замкнутого типа. Поэтому область существования подкласса однообмоточных ЦЭМ, обладающих свойством электромагнитной инверсии, ограничена хромосомным набором из следующих 4-х родительских хромосом:

$$Q^1 = (\text{ЦЛ}0.0x, \text{ЦЛ}0.2y, \text{ЦЛ}2.0x_3, \text{ЦЛ}2.2x_2) \quad (6)$$

Таким образом, рассматриваемый функциональный класс ЦЭМ представляет собой эволюционирующую, генетически определенную конечную совокупность порождающих видов (включая, реально-информационные и неявные), образующих структурную целостность на основе разнообразия цилиндрических форм активных поверхностей, реализующих поступательное движение подвижной части.

#### ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КЛАССА

Наличие информации о разнообразии и численности порождающих видов с учетом их генетической природы и непосредственной связи с структурой ГК, позволяет определить ранговую структуру основных систематических единиц исследуемого класса ЦЭМ [1]. Указанную ранговую зависимость можно представить последовательностью следующих систематических единиц

$$\langle S_{00}, S_{02}, S_{20}, S_{22} \rangle \subset \langle G_{Цлн} \rangle \subset \langle G_{Цл} \rangle, \quad (7)$$

где  $S_{00}, S_{02}, S_{20}, S_{22}$  - совокупности генетически родственных видов, входящих в соответствующие группы периодической структуры ГК;  $G_{Цлн}$  – подрод цилиндрических ЭМ поступательного движения;  $G_{Цл}$  – род цилиндрических ЭМ. Представленная выражением (7), соподчиненная структура классов, родство которых обусловлено принципом сохранения генетической информации первичного источника поля, отображает иерархию основных таксонов (“Вид” → “Подрод” → “Род”), которые составляют основу эволюционной геносистематики ЭМПЭ.

Класс цилиндрических ЭМ - единственный род в эволюционной систематике ЭМПЭ, таксономическая структура которого представлена видами ЭМ как вращательного, так и поступательного движения (рис.1). В структуре идеального рода цилиндрических ЭМ численность видов с поступательным движением, составляет 50% от общей численности видов. Основной потенциал из 6 видов ЦЭМ поступательного движения (37,5%) сосредоточен в группах 2.0 и 2.2, содержащих источники с продольной асимметрией. Оставшиеся виды (12,5%) поровну распределены в симметричных группах 0.0 и 0.2.

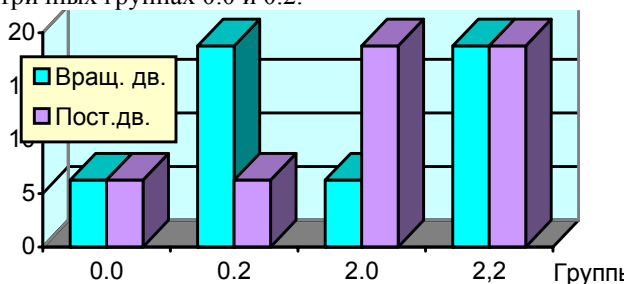


Рис.1. Распределение видов ЭМ вращательного и поступательного движения в структуре идеального рода цилиндрических электрических машин

Равномерное распределение численности видов ЦЭМ вращательного и поступательного движений по группам – результат проявления принципа парности [1], который устанавливает геометрическое родство порождающих источников поля и подтверждает генетическую природу видов-двойников, имеющих место в пределах произвольного рода ЭМ.

В ранговой последовательности таксонов (рис. 2) статус класса ЦЭМ поступательного движения соответствует рангу подрода, структура которого определяется 3 видами базового уровня (выделены полужирным шрифтом) и 5 видами-близнецами.

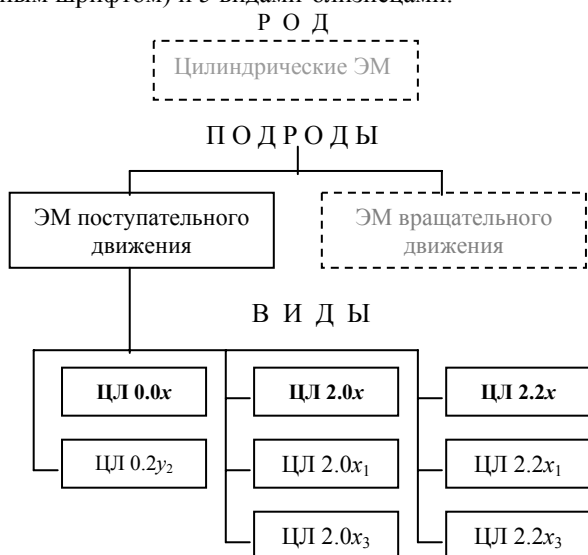


Рис.2. Ранговая структура основных систематических единиц цилиндрических ЭМ поступательного движения

Представленная на рис.2 совокупность видов соответствует понятию “идеального” подрода, структу-

ра которого инвариантна относительно уровня эволюции таксона  $T_3$ , принципа действия и функциональной принадлежности ЭМ.

Инвариантность генетической информации – фундаментальное свойство базовых видов ЭМ-системы. Эта закономерность означает, что количественный состав и структура базовых видов генетически предопределены периодической структурой ГК. Устойчивость таксонов во времени – важнейший принцип в эволюционной концепции геносистематики развивающихся ЭМ-систем. Представленную на рис. 2 ранговую структуру таксонов можно рассматривать как системную основу для описания видового разнообразия ЦЭМ поступательного движения в эволюционной систематике электрических машин.

### О РОДСТВЕ ВИДОВ ЦЛ 0.2y и ЦЛ 2.0x

В соответствии с принципом неравномерности эволюции видов [1], в структуре произвольного функционального класса ЭМПЭ можно выделить доминирующий вид, который по мощности популяций и структурно-функциональному потенциалу превосходит остальные родственные виды. Такими свойствами в классе ЭМ вращательного движения обладает базовый вид цилиндрических ЭМ ЦЛ 0.2y, а в классе ЦЭМ поступательного движения – вид ЦЛ 2.0x.

Принадлежность базовых видов ЦЛ 0.2y и ЦЛ 2.0x к одному роду, позволяет выявить их системные и индивидуальные генетические признаки и тем самым установить природу их истинного родства. Основные результаты такого сравнения можно обобщить следующими положениями:

- Генефонд сравниваемых видов определяется геометрически и топологически родственными источниками поля, удовлетворяющими принципу парности. Это позволяет установить степень родства базовых видов ЦЛ 0.2y и ЦЛ 2.0x, которая соответствует статусу видов-двойников [1];
- Различие в ориентируемости геометрически родственных источников поля составляет их индивидуальное свойство, что обуславливает соответствующее различие по виду реализуемого пространственного движения в структурных представителях видов-двойников;
- Симметрия цифровой части генетического кода видов-двойников, относящихся к группам с электромагнитной диссимметрией 0.2 и 2.0, указывает на различие концевых эффектов (продольных и поперечных), обуславливающих существенное различие в электромагнитных свойствах сравниваемых видов ЦЭМ;
- Принадлежность порождающих источников поля к различным группам электромагнитной симметрии указывает на некорректность применения одной обобщенной математической модели для анализа электромагнитных процессов в ЭМ-двойниках, принадлежащих к группам 0.2 и 2.0.

В соответствии с принципом парности, в структуре идеального рода цилиндрических ЭМ, свойствами видов-двойников (только для групп 0.0 и 2.2) будут обладать и другие геометрически и электромагнитно

эквивалентные пары видов, имеющие симметричный генетический код, но отличающихся видом пространственного движения:

$$Q_{ЦП} = \begin{vmatrix} 0.0 & S_{0.0x} \leftrightarrow S_{0.0y} \\ 0.2-2.0 & S_{0.2y} \leftrightarrow S_{2.0x}, S_{0.2y1} \leftrightarrow S_{2.0x1}, \\ & S_{0.2y2} \leftrightarrow S_{2.0x2}, S_{0.2y3} \leftrightarrow S_{2.0x3} \\ 2.2 & S_{2.2x} \leftrightarrow S_{2.2y}, S_{2.2x1} \leftrightarrow S_{2.2y1}, \\ & S_{2.2x2} \leftrightarrow S_{2.2y2} \end{vmatrix} \quad (8)$$

Это означает, что каждому структурному представителю цилиндрической ЭМ вращательного движения ставится в соответствие эквивалентная структура ЦЭМ поступательного движения.

Симметричное представительство 8 видов-двойников в структуре идеального рода ЦЭМ по виду пространственного движения – индивидуальный таксономический признак, присущий только роду цилиндрических ЭМПЭ, который определяет генофонд класса.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследования можно обобщить следующими положениями:

1. Цилиндрические ЭМ поступательного движения представляют собой эволюционирующий функциональный класс электромеханических преобразователей энергии, имеющий собственную генетическую природу и конечное число порождающих видов, структурные представители которых осуществляют электромеханическое преобразование энергии при поступательном или возвратно-поступательном движении активных частей, имеющих цилиндрическую форму.

2. Определен таксономический статус класса ЦЭМ поступательного движения, который соответствует рангу подрода машин поступательного движения в структуре рода цилиндрических электрических машин.

3. Определены границы видообразования подрода ЦЭМ, которые ограничены структурой первого малого периода ГК и определяются хромосомным набором из 8 парных электромагнитных хромосом (электромеханических пар), цилиндрической пространственной формы с аксиальной ориентацией волны поля.

4. Впервые определены ранговая структура основных систематических единиц и структура видов исследуемого класса ЦЭМ поступательного движения, образующая следующую иерархию таксонов: “подрод” → “базовые виды” (3 базовых вида и 5 видов-близнецов) → “подвиды”.

5. Осуществлен генетический анализ системных и индивидуальных признаков видов, результаты которого позволили выделить инвариантную часть наследственной информации (электромагнитной, топологической и геометрической), определяющей принципы структурообразования ЦЭМ поступательного движения.

6. Научно обоснована генетическая природа образования 8 пар видов-двойников в структурном разнообразии ЦЭМ. На примере видов-двойников ЦЛ 0.2у и ЦЛ 2.0х, доминирующих в эволюционном развитии ЦЭМ вращательного и поступательного движения, определены признаки межвидового родст-

ва и генетические различия, присущие каждому из родственных видов ЭМ.

Полученные результаты исследования можно рассматривать в качестве научно-методической основы для построения эволюционной систематики, создания генетического банка данных и разработки инновационной стратегии управляемой структурной эволюции цилиндрических ЭМ поступательного движения.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шинкаренко В.Ф. Основы теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.
- [2] Шинкаренко В.Ф. На пути к расшифровке генома электромеханических преобразователей энергии. // Техн. электродинамика. Темат. вып.: “Проблеми сучасної електротехніки”. Ч.3. - 2004. – С. 40–47.
- [3] Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А. Генетический анализ и систематика видов асинхронных машин поступательного движения (род плоских) // Електротехніка і електромеханіка, 2003. - № 4. – С. 92 – 100.
- [4] Свечарник Д.В. Линейный электропривод. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.

*Поступила 05.04.2005*