

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИКА ВИДОВ АСИНХРОННЫХ МАШИН ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ (РОД ПЛОСКИХ)

Шинкаренко В.Ф., д.т.н., Августинович А.А.

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”

Украина, 03056, Киев-56, ул. Политехническая, 37, корп. 20, НТУУ “КПИ”, кафедра электромеханики.

тел./факс (044) 241-76-38; E-mail: ntuukafem@ua.fm

*Показано значення і актуальність досліджень з проблеми систематики електричних машин. На підставі запропонованої генетичної моделі здійснено аналіз утворення та еволюції таксономічної структури систематики. Розшифровано геном і класифіковано видовий склад асинхронних машин роду плоских. Наведено результати генетичного аналізу неявних видів плоских асинхронних машин, інформація щодо популяційної структури яких ще відсутня на даному етапі еволюції структурної електромеханіки. Здійснено прогноз очікуваних напрямів структуротворення в межах роду.*

*Показано значение и актуальность исследований по проблеме систематики электрических машин. На основе предложенной генетической модели осуществлен анализ образования и эволюции таксономической структуры систематики. Расшифрован геном и классифицирован видовой состав асинхронных машин рода плоских. Приведены результаты генетического анализа неявных видов плоских асинхронных машин, информация относительно популяционной структуры которых еще отсутствует на данном этапе эволюции структурной электромеханики. Осуществлен прогноз ожидаемых направлений структурообразования в пределах рода.*

### ВВЕДЕНИЕ

Задачи анализа и классификации сложных систем представляют одну из главных проблем современной науки. Определить принципы классификации, распределить объекты по определенным систематическим группам и тем самым упорядочить накопленные знания призвана систематика – наука о структурном и видовом разнообразии развивающихся систем. Наличие систематики – свидетельство научной зрелости соответствующей области знаний о системах. На современном этапе развития науки значение систематики как фундаментальной и синтетической теории уже осознается не только биологами, но и представителями других наук. Однако корректная постановка и последующее решение этой сложной системной задачи возможно только в тех научных дисциплинах, где достигнут соответствующий уровень структурно-системных исследований, разработаны научные основы генетической теории филогенеза и теории видообразования с учетом характерных особенностей, присутствующих конкретному классу эволюционирующих систем. Поэтому актуальность проблемы систематики будет неизбежно возрастать по мере дальнейшего увеличения номенклатуры, усложнения и расширения видов технических систем и прогрессирующего увеличения потоков сопровождающей их информации.

Структурная электромеханика, предметом исследования которой являются развивающиеся структурные классы электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ), стала первой из технических дисциплин где создан теоретический фундамент для построения филогенетической систематики электромеханических объектов и систем [10].

Поэтому проблемы генетического анализа и построения систематики развивающихся ЭМ-систем, относятся к принципиально новым научным задачам, постановка которых стала возможной в результате разработки основ теории эволюции ЭМПЭ.

Основная задача начального этапа системных ис-

следований в этом направлении заключается в расшифровке генома ЭМПЭ, т.е. идентификации и систематизации потенциально возможных хромосомных наборов, определяющих структуру базовых видов электрических машин (ЭМ). Аналогом этой задачи в биологической науке является задача определения видового разнообразия живых организмов ( $\alpha$  – систематика), которая выделилась в самостоятельную фундаментальную область исследований в современной систематике живой природы [5].

По своей сложности и значению для науки, проблема генетического анализа порождающих структур ЭМПЭ и последующее практическое использование его результатов в задачах классификации и направленного синтеза новых структурных классов ЭМ с заданной целевой функцией, равноценна построению самостоятельной генетической теории структурообразования ЭМ-систем. Постановка и решение этой сложной системной задачи определяет сущность нового научного направления, проблемная область которого обобщается понятием «Генетическая электромеханика».

Материалы данной статьи посвящены развитию теории и методологии генетического анализа порождающих электромагнитных структур с приложением их результатов к систематике видов плоских асинхронных машин (АМ) – одного из наиболее интенсивно развивающихся классов машин поступательного движения, который занимает ранг рода в таксономической структуре филогенетической систематики ЭМ. Статья обобщает результаты очередного этапа исследований, выполняемых на кафедре электромеханики НТУУ “КПИ” в рамках решения комплексных программ фундаментальных исследований “Геном электромеханических преобразователей энергии” и “Эволюционная систематика электрических машин”. В статье использованы термины и обозначения, общепринятые в теории эволюции сложных систем, определения и пояснения к которым приведены в работе [10].

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ТАКСОНОВ

В предыдущих работах авторов [10,12,13] изложены основные принципы построения систематики ЭМПЭ, научно обоснована категория вида ЭМ-системы, предложена таксономическая структура и определена иерархия рангов эволюционной систематики ЭМ, показано ее научно-методологическое значение для электротехнической науки и университетского образования. В результате этих исследований установлено, что исходя из принципа сохранения генетической информации базового вида ЭМПЭ, структура видов, и родов генерального сообщества электромеханических структур на хромосомном уровне однозначно определяется генетической информацией конечного множества первичных источников электромагнитного поля (родительских электромагнитных хромосом). Разнообразие пространственных форм, электромагнитные, симметричные и топологические свойства таких порождающих электромагнитных элементов упорядочиваются периодической структурой Генетической классификации (ГК) первичных источников электромагнитного поля. Первый большой период расширенного варианта ГК обобщает генетическую информацию о порождающих структурах видов, образующих 6 основных родов ЭМПЭ. Инвариантность категории вида и рода к функциональному назначению и принципу действия ЭМПЭ и периодичность генетических свойств первичных источников поля позволяет применять обобщенный подход к их генетическому анализу в пределах соответствующих геометрических классов (периодов).

Исходя из генетической концепции структурной организации ЭМ-систем, вид ЭМПЭ представляет собой целостную, генетически определенную развивающуюся во времени систему, характеризующуюся собственным хромосомным набором, популяционной структурой и генетическими механизмами передачи наследственной информации. Структура базовых видов произвольного таксона, имеющего ранг рода, определяется хромосомным набором первого поколения, включающим порождающие структуры электромагнитно и пространственно совместимых первичных источников поля (простейших электромеханических пар). Такие структуры образуются в результате первичной репликации (удвоения) или скрещивания гомологичных родительских электромагнитных хромосом. Количественный состав хромосомного набора определяется на конечном множестве первичных источников поля, определяющего внутреннюю структуру соответствующего малого периода расширенного варианта ГК. Знание генетической информации, заключенной в родительских хромосомах, позволяет однозначно определить видовой состав рода, синтезировать хромосомные наборы популяций входящих в него видов, и тем самым, получить полную информацию о структурном потенциале таксона.

Корреляция свойств первичных источников электромагнитного поля, определяющих предметную область ГК, с существенными признаками синтезированных на их основе электромеханических структур, которая реализуется через генетические принципы передачи наследственной информации в ранговой последовательности: «родительская хромосома → Вид → Род → Семейство», позволяет предложить обобщенную гене-

тическую модель образования основных и вспомогательных таксонов систематики ЭМ (рис. 1).

Анализ предложенной модели указывает на необходимость существования двух начал, определяющих эволюцию произвольного семейства ЭМ-систем: природного, детерминированного периодической структурой ГК, определяющего множество потенциально возможных видов ЭМ, и индетерминированного, формирующего фенотип системы в процессе ее эволюции. Для ЭМ-систем термин «фенотип» близкий по смыслу с понятием технического уровня системы, который определяется уровнем научного, социального и экономического развития общества и результатами целенаправленной творческой деятельности человека.

Генетическая ветвь структурообразования в пределах произвольного вида ЭМПЭ полностью прогнозируема, так как предопределена генетическим кодом родительской хромосомы (первичного источника электромагнитного поля, определяемого координатами базовых признаков  $S_o$ ,  $G_o$  в структуре ГК). Наследственная информация родительской хромосомы, включающая вид и инвариантные свойства поля, вид электромагнитной симметрии источника поля, его топологические признаки и пространственную геометрию, на определенном этапе ее познания и целенаправленной инновационной деятельности человека технически реализуется в некоторую функциональную структуру  $s_i$  из хромосомного набора  $N_1$  вида  $S_1$ . Для случая ЭМПЭ структура  $s_i$ , в представленной на рис.1 модели, интерпретируется простейшей электромеханической парой, унаследовавшей информацию родительской хромосомы и выполняющей роль порождающей по отношению к популяционной структуре Вида  $S_j$

$$s_i \in S_1 \subset M_F, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m},$$

где  $M_F$  – множество видов, образующих семейство  $F_1$ ;  $n$  – число порождающих структур в соответствующем хромосомном наборе Вида  $S_1$ ;  $m$  – число видов в структуре Рода  $G_2$ .

Для родов и семейств ЭМ, образовавшихся на более поздних этапах эволюции ЭМПЭ, функцию формообразующей структуры для соответствующего вида или рода ЭМ, как правило, выполняет структура-аналог из предшествующего семейства ЭМПЭ, которая обобщается понятием архетипа. Например, функцию архетипов в эволюции родов сферических, цилиндрических и плоских тороидальных ЭМ индуктивного типа, выполнили их исторические предшественники – емкостные машины (машины трения), прототипы соответствующих геометрических форм которых были созданы в XVII в. и в начале XVIII в. [3].

После открытия порождающей генетической структуры  $s_i \in F_1$ , в процессе структурной эволюции и расширения областей практического использования, происходит формирование ее фенотипа. Под действием потоков инноваций совершенствуется ее конструкция, используются современные электротехнические и конструкционные материалы, предлагаются новые структурные разновидности, т.е., осуществляется формирование популяционной структуры Вида  $S_1$ . Указанные процессы реализуются через общесистемные эволюционные механизмы адаптации, конкурентной борьбы, отбора, которые отображаются при помощи моделей микроэволюции.

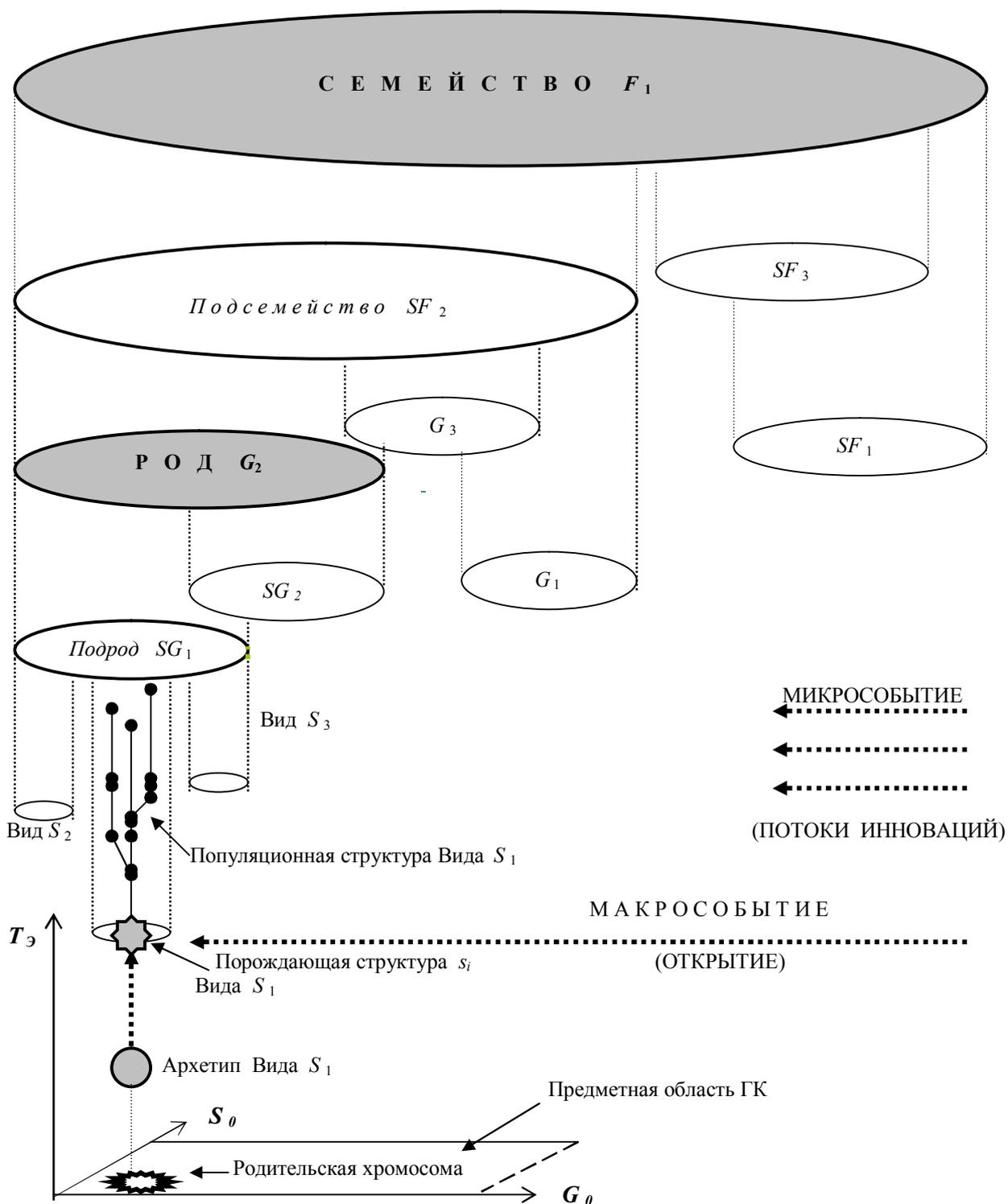


Рис. 1. Генетическая модель образования ранговой структуры таксонов в эволюционной систематике электрических машин

Постепенное распространение научно-технической информации о принципе действия и результатах усовершенствования конструкции Вида  $S_1$ , способствует открытию (созданию) порождающих структур других видов (например,  $S_2$  и  $S_3$ ), принадлежащих семейству  $F_1$ , и формированию их популяций. В реальном времени эволюции  $T_э$  указанные процессы как правило, реализуются путем переноса соответствующих признаков фенотипа Вида-предшественника  $S_1$  на

родственные структуры других видов. Таким образом формируется видовой состав Рода  $G_2$ , а также других родов ( $G_1$ ,  $G_3$ ), образующих подсемейство  $SF_2$ .

Так как генетические свойства элементов групп ГК определяются принципами сохранения электромагнитной симметрии первичных источников поля, процессы структурообразования видовой состава неизбежно будут сопровождаться многочисленными параллелизмами структурных признаков в популяци-

ях видов, принадлежащих к разным родам. Указанная закономерность позволяет осуществлять направленный поиск и последующий синтез электромеханических структур новых видов и родов ЭМ, еще не известных на данное время эволюции. Информационно-методическое обеспечение и практическое использование результатов такого синтеза составляет одно из направлений в структурной электромеханике, научно-методологическая основа которого обобщается законом гомологических рядов ЭМ-систем [10].

При необходимости, родственные виды, по некоторой совокупности существенных признаков могут объединяться в подроды, т.е., образовывать вспомогательные таксоны. В свою очередь, близкие роды ЭМ, в процессе эволюции, могут объединяться в более крупные таксономические структуры – подсемейства. Два или больше родственных родов ЭМ, образуют семейство – таксономическую категорию вышестоящего ранга. Чем выше ранг таксона, тем больше времени необходимо на формирование его структуры.

Макроэволюционные траектории, характеризующие процессы образования надвидовых таксонов (родов, семейств) в пределах каждого класса ЭМПЭ, в координатах многомерного пространства ГК имеют сходный характер (вид пространственно-временной спирали). Такая закономерность сохранится и для новых таксонов ЭМ, которые будут открыты в будущем. Это объясняется общностью генофонда формирующих источников поля и естественной временной инерцией поочередного открытия порождающих структур соответствующих базовых видов. Однако темпы эволюции, очередность образования видового состава во времени и его мощность для каждого класса ЭМ будут различаться, с характерной тенденцией сокращения времени видообразования и постепенного увеличения численности видов за счет резерва неясных и новых синтезированных видов.

Таким образом, представленная на рис. 1 модель, удовлетворяет принципам генетической организации электромеханических структур и отражает реальные исторические процессы образования, развития и структурной изменчивости таксонов главной группы рангов, которые происходят в результате целенаправленной деятельности человека.

#### ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РОДА

В соответствии с принципом парности [11], элементный состав третьего малого периода в структуре ГК представлен тремя  $x$ - $y$  парами родительских хромосом, образующих дискретный ряд геометрическими признаками и группой электромагнитной симметрии, источников поля базового уровня. Таким образом, основной хромосомный набор  $X_{ПЛ}$ , характеризующий разнообразие базовых видов плоских ЭМПЭ определяется группой из 6 первичных источников поля:

$$X_{ПЛ} = (ПЛ\ 0.0x, ПЛ\ 0.0y, ПЛ\ 0.2y, ПЛ\ 2.0x, ПЛ\ 2.2x, ПЛ\ 2.2y) \subset M_{ПЛ},$$

где  $M_{ПЛ}$  - множество родительских хромосом, определяющих генетическую структуру потенциально возможных видов (включая виды-близнецы) ЭМ рода плоских. Таким образом, порождающие структуры, определяющие видовой состав рода плоских ЭМПЭ, представлены парными элементами всех групп пе-

риодической структуры ГК, начиная от электромагнитно симметричных (ПЛ 0.0xy), включая источники с частичным нарушением электромагнитной симметрии (ПЛ 0.2y; ПЛ 2.0x), и заканчивая асимметричными в электромагнитном отношении источниками (ПЛ 2.2xy). Следует отметить, что на базовом уровне, родительские хромосомы ПЛ 2.2x и ПЛ 2.2y (и соответствующее структурное потомство ЭМ) генетически не различимы, так как представляют частный случай геометрически, топологически и электромагнитно эквивалентных структур. В данном случае топологические признаки ориентируемости источника переходят в тождество. Но, исходя из принципа парности и учитывая различный состав и отличительные признаки порождаемых ими источников-изотопов, указанная  $x$ - $y$  пара хромосом представлена двумя структурами.

Для определения полного набора порождающих структур рода плоских асинхронных машин необходимо также определить информацию о порождающих структурах видов-близнецов, т.е. генетически родственных структурах, синтезированных на источниках-изотопах. Такие структуры можно получить, применив группу гомеоморфных преобразований (непрерывных деформаций)  $F^T$  по отношению к родительским хромосомам базового уровня  $X_{ПЛ}$

$$F^T(s_{0i}) \rightarrow X^*_{ПЛ} \subset M_{ПЛ}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

В результате таких преобразований образуются локальные последовательности гомологичных хромосом  $X^*_{ПЛ}$ , сохраняющие топологию и электромагнитную симметрию родительской хромосомы, но обладающие отличительными геометрическими признаками, обусловленными свойством геометрического полиморфизма геометрических форм источников в пределах заданного топологического пространства. Электромеханические структуры синтезированные на таких источниках имеют общий генетический код и образуют хромосомные наборы, определяющие геном видов-близнецов. Для исследуемого класса электрических машин порождающие структуры видов-близнецов будут представлены следующим локальными подгруппами источников-изотопов (источники-изотопы на замкнутых поверхностях вида ПЛ 0.0xy из дальнейшего анализа исключаем, ввиду сложности их технической реализации)

$$F^T(ПЛ\ 0.2y) \rightarrow ПЛ\ 0.2y_1, ПЛ\ 0.2y_2, ПЛ\ 0.2y_3,$$

$$ПЛ\ 0.2y_4;$$

$$F^T(ПЛ\ 2.0x) \rightarrow ПЛ\ 2.0y_1, ПЛ\ 2.0y_2, ПЛ\ 2.0y_3,$$

$$ПЛ\ 2.0y_4;$$

$$F^T(ПЛ\ 2.2x) \rightarrow ПЛ\ 2.2x_1, ПЛ\ 2.2x_2;$$

$$F^T(ПЛ\ 2.2y) \rightarrow ПЛ\ 2.2y_1, ПЛ\ 2.2y_2.$$

Таким образом, полная совокупность порождающих структур базовых видов АМ рода плоских  $M_{ПЛ}$  определяется хромосомным набором первого поколения, включающим 6 порождающих структур  $X_{ПЛ}$  базового уровня и подгруппу из 12 хромосом  $X^*_{ПЛ}$ , определяющих генетическую структуру видов-близнецов:

$$M_{ПЛ} = (X_{ПЛ}, X^*_{ПЛ}) = (ПЛ\ 0.0x, ПЛ\ 0.0y, ПЛ\ 0.2y,$$

$$ПЛ\ 2.0x, ПЛ\ 2.2x, ПЛ\ 2.2y, ПЛ\ 0.2y_1, ПЛ\ 0.2y_2,$$

$$ПЛ\ 0.2y_3, ПЛ\ 0.2y_4, ПЛ\ 2.0y_1, ПЛ\ 2.0y_2, ПЛ\ 2.0y_3,$$

$$ПЛ\ 2.0y_4, ПЛ\ 2.2x_1, ПЛ\ 2.2x_2, ПЛ\ 2.2y_1, ПЛ\ 2.2y_2)$$

Учитывая инвариантность родового таксона к принципу действия и функциональной принадлежности ЭМПЭ [13], хромосомный набор рода  $M_{ПЛ}$  сохра-

нит статус порождающего также по отношению к другим семействам ЭМ.

### ГЕНОМ РОДА

С точки зрения генетической концепции структурной организации ЭМ-систем, наследственная информация содержащаяся в генетических кодах конечного множества порождающих структур (хромосомных наборов) базовых видов  $M_{пл}$ , обобщается понятием генома рода.

Проблема расшифровки генома ЭМПЭ т.е., идентификации порождающих хромосомных наборов, лежащих в основе видообразования ЭМ-систем, составляет главную задачу генетической электромеханики. В рамках классической научной парадигмы постановка такой задачи, а следовательно и задачи направленного синтеза новых классов ЭМПЭ, отсутствовала.

Реализация программы по расшифровке генома ЭМПЭ непосредственно связана с проблемой освоения новой методологии генетического синтеза и построения эволюционной систематики структурного разнообразия электрических машин. Поэтому строгой постановке проблемы систематики должны предшествовать процедуры генетической идентификации порождающих видов ЭМ.

Рассмотрим результаты такого генетического анализа, выполненные применительно к порождающим электромагнитным структурам рода плоских АМ (табл. 1). В табл. 1 наряду с генетической информацией хромосомного набора, представлена классификация видов по их генетическому родству (базовые, виды-близнецы и виды-двойники) и уровню эволюционного развития (реальные, информационные и неявные).

Таблица 1

Структура генома видового состава плоских электрических машин семейства асинхронных

Генетический код родительской хромосомы	Топология поверхности источника поля	Вид ЭМ-симметрии	Первичные концевые эффекты	Характер пространственного движения волны поля	Статус и уровень эволюции вида
<b>ПЛ 0.0x</b>	Двусторонняя замкнутая, без края.	x-y симметрия	Отсутствуют	Поступательный, инверсный	Базовый, неявный
<b>ПЛ 0.0y</b>					Базовый, неявный
<b>ПЛ 0.2y</b>	Двусторонняя замкнутая, с краем.	x-симметрия; y-асимметрия	Поперечный		Базовый, неявный
<b>ПЛ 0.2y<sub>1</sub></b>					Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 0.2y<sub>2</sub></b>					Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 0.2y<sub>3</sub></b>					Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 0.2y<sub>4</sub></b>				Вид-близнец, неявный	
<b>ПЛ 2.0x</b>				x-асимметрия; y-симметрия	Продольный
<b>ПЛ 2.0x<sub>1</sub></b>	Базовый, реально-информационный				
<b>ПЛ 2.0x<sub>2</sub></b>	Вид-близнец, неявный				
<b>ПЛ 2.0x<sub>3</sub></b>	Вид-близнец, инверсный				
<b>ПЛ 2.0x<sub>4</sub></b>	Поступательный	Вид-близнец, информационный			
<b>ПЛ 2.2x</b>		Базовый, реально-информационный			
<b>ПЛ 2.2x<sub>1</sub></b>		Вид-близнец, неявный			
<b>ПЛ 2.2x<sub>2</sub></b>	Двусторонняя разомкнутая, с краем	x-y асимметрия	Продольно-поперечный	Поступательный, инверсный	Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 2.2y</b>					Базовый, реально-информационный
<b>ПЛ 2.2y<sub>1</sub></b>				Поступательный, инверсный	Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 2.2y<sub>2</sub></b>					Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 2.2y<sub>3</sub></b>					Вид-близнец, неявный
<b>ПЛ 2.2y<sub>4</sub></b>					Вид-близнец, неявный

Базовые виды – виды ЭМ, порождающие структуры которых образованы на первичных источниках поля, образующих предметную область ГК. Генетические коды родительских хромосом базовых видов в табл. 1 выделены полужирным шрифтом.

Наличие видов-двойников – следствие принципа парности электромеханических структур. Они распознаются по генетическому коду источника поля. Для электромагнитно симметричных пар источников

(группы 0.0 и 2.2) они имеют общую буквенную и цифровую части генетического кода, но различаются топологическими признаками ориентируемости (x и y) поверхности источника поля (например, **ПЛ 0.0x** и **ПЛ 0.0y**; **ПЛ 2.0x<sub>1</sub>** и **ПЛ 2.0y<sub>1</sub>**; ...), а для несимметричных пар источников (группы 0.2 и 2.0) – по зеркальной симметрии бинарного цифрового кода и признакам ортогональной ориентируемости (например, **ПЛ 2.0x** и **ПЛ 0.2y**; **ПЛ 2.0x<sub>2</sub>** и **ПЛ 0.2y<sub>2</sub>**; ...).

Отличительные геометрические признаки видов-близнецов в структуре генетического кода кодируются нижним цифровым индексом возле признака ориентированности источника (например,  $x_1, x_2, \dots; y_1, y_2, \dots$ ). На затемненном фоне табл. 1 представлена информация о реальных и информационных видах, структурные представители которых обнаружены в результате информационного поиска.

Таким образом, род плоских АМ объединяет 18 видов, в том числе, 6 базовых и 12 видов-близнецов. По признаку пространственного движения волны поля все порождающие структуры образуют однонаправленную бегущую волну поля, а источники с двусторонней активной поверхностью – поступательно-инверсного вида. По группе электромагнитной симметрии, наличию и виду первичных концевых эффектов (КЭ) порождающего источника поля, виды плоских АМ подразделяются на электромагнитно симметричные (подгруппа ПЛ 0.0, КЭ отсутствуют), диссимметричные (подгруппа ПЛ 0.2 с поперечным КЭ; подгруппа ПЛ 2.0х с продольным КЭ) и асимметричные (подгруппа ПЛ 2.2ху с предельным случаем продольно-поперечного КЭ). По структуре распределенных обмоток индукторов все виды плоских АМ образуют три генетических класса: с кольцевыми, пространственно-концентрическими, поверхностными распределенными и сосредоточенными обмотками [14].

#### О ТАКСОНОМИЧЕСКОМ СТАТУСЕ АСИНХРОННЫХ МАШИН С ПОПЕРЕЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ

Все существующее разнообразие структур, образующих таксон ранга семейства АМ, по признаку пространственной ориентации плоскости замыкания основного магнитного потока относительно направления движения подвижной части машины, можно разделить на два самостоятельных класса – с продольным и поперечным магнитным потоком. Первые патенты на конструктивные варианты плоских асинхронных двигателей с поперечным потоком появились относительно недавно, в конце 60-х и в начале 70-х годов прошлого века, хотя архетип этой разновидности ЭМ, известный в исторической литературе как “диск Фарадея” был технически реализован еще в 1831 г. Ближайшим аналогом среди класса индукционных ЭМ является конструкция плоского МГД-насоса, запатентованная Т.К. Калниным в 1966 г [2].

Изобретение нового варианта плоских АМ необходимо рассматривать как результат поиска альтернатив в ходе решения возникших на то время проблем (снижение энергетического фактора при увеличении скорости движения, большая длина лобовых частей распределенной обмотки), связанных с применением линейных АД с продольным потоком и двухслойными распределенными обмотками на перспективных видах высокоскоростного наземного электротранспорта. Дальнейшей эволюции новой разновидности АМ в значительной мере способствовали многочисленные публикации и патенты Э. Р. Лейтвейта [15], а также выход монографии Т.К. Калнина [2]. Естественным развитием процесса структурообразования АМ с продольным и поперечным замыканием магнитных потоков явилось создание плоских машин гибридного типа с продольно-поперечным потоком [9], которые на данное время уже обладают собствен-

ной разветвленной популяционной структурой.

Основным критерием для определения ранга таксономической принадлежности произвольного класса ЭМ являются генетический потенциал его видовой разнообразия. Использование генетического критерия позволяет определять ранг таксона независимо от уровня его структурного развития.

Определим область существования  $Q_{пл}$  хромосомного набора базовых видов АМ с поперечным потоком (ограничимся первыми пятью малыми периодами структуры ГК)

$$Q_{пл} = \left| \begin{array}{l} 0.0 \quad ЦЛ0.0x, ЦЛ0.0y, КН 0.0y, ПЛ 0.0x, \\ \quad \quad ПЛ0.0y, ТП 0.0y, СФ0.0y; \\ 0.2 \quad ЦЛ0.2y, КН0.2y, ПЛ0.2y, ТП0.2y, \\ \quad \quad СФ0.2y; \\ 2.0 \quad ЦЛ2.0x, ПЛ2.0x; \\ 2.2 \quad ЦЛ2.2x, ЦЛ2.2y, КН2.2y, ПЛ2.2x, \\ \quad \quad ПЛ2.2y, ТП2.2y, СФ2.2x, СФ2.2y \end{array} \right|$$

Таким образом, класс АМ с поперечным потоком представлен только на базовом уровне 22 видами, в том числе 9 видами машин поступательного движения (генетические коды выделены полужирным шрифтом) и 13 видами машин вращательного движения. Анализ структуры  $Q_{пл}$  по родовому признаку указывает на то, что АМ исследуемого класса представлены двумя родами, с цилиндрической и плоской пространственной формой источников поля. На точное время эволюции по результатам патентного поиска обнаружены структурные представители двух родов (ПЛ 2.2,х,у и ЦЛ 2.0х). Результаты приведенного генетического анализа позволяют сделать вывод, что классы АМ с продольным и поперечным магнитным потоком соответствуют рангу подсемейства в таксономической структуре систематики АМ.

#### ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ РОДОВОЕ ДЕРЕВО И ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПРОГНОЗ

В теории эволюции развивающихся систем основная информация о времени и очередности образования существующего разнообразия видов обобщается понятием филогенеза, отражающего характерные этапы исторического развития как отдельных видов, так и конкретных систематических групп различного ранга. Филогенез и его закономерности составляют предмет изучения филогении – науки об эволюционной истории развития систем. Филогенетические диаграммы дополненные информацией о геноме определенного таксона, приобретают статус филогенетических. Рассмотрим особенности филогенеза исследуемого класса АМ рода плоских.

Архетипом ЭМПЭ поступательного движения, положившим начало процессу формообразования плоских индуктивных машин, по всей видимости является электромагнитный двигатель Уинстона, который был запатентован в США в 1845 г. [16, 18]. Структурная реализация первого плоского источника электромагнитного поля, согласно этому изобретению, определила генетическую информацию не только будущего базового вида электрических машин поступательного движения (ПЛ 2.2 ху), но и выполнила роль порождающей структуры для рода плоских ЭМ и будущего подсемейства ЭМПЭ с катящимся ротором.

Кроме того двигатель Уинстона можно рассматривать и как структурный прототип межродового гибрида, генетическая структура которого совмещает источники поля, принадлежащие к различным геометрическим классам - плоской и цилиндрической геометрических форм.

История появления первого электродвигателя индукционного типа с плоским индуктором в литературе трактуется неоднозначно. При обсуждении этого вопроса некоторые зарубежные авторы (Лейтвейт, Насар) ссылаются на якобы имеющий место патент США, выданный на имя Pittsburgh в 1890 г. [16]. Однако, авторы книги [1] эту информацию подвергают сомнению, мотивируя тем, что: «...явление вращающегося магнитного поля стало известно из публикаций Г. Феррариса и Н. Тесла в 1888 г., а сведения об асинхронном двигателе М.О. Доливо-Добровольского были опубликованы только в 1891 г., в связи с чем до 1891 г. еще нечего было развертывать (в плоскость.- *авт.*)». Учитывая это обстоятельство, за точку отсчета эволюции рода плоских АМ (рис. 2) примем исторически подтвержденный, и часто цитируемый в литературе по истории ЭМ поступательного движения, патент А. Зедена, который был выдан в Англии в 1902 г. [7].

Двигатель Зедена положил начало образованию популяционной структуры наиболее мощного базового вида ПЛ 2.2ху рода плоских, эволюция которого продолжается уже на протяжении 100 лет. Совокупность диаметрально противоположных свойств (простота конструкции, возможность безредукторной реализации поступательного движения, многочисленные варианты пространственно-структурной реализации, широкая область практического применения, с одной стороны, и наличие продольных и поперечных концевых электромагнитных эффектов, высокая сложность их моделирования и относительно низкие энергетические показатели, с другой), присущих многочисленному потомству этого вида АМ вызвали интерес специалистов и обусловили высокие темпы его структурной эволюции. Наиболее интенсивный этап исследований этого класса ЭМ в промышленно развитых странах мира наблюдался в 1960–1980 г.г. Именно за этот промежуток времени, объемы научной и патентной информации по плоским двигателям поступательного движения более чем в 2 раза превышали темпы роста информационных потоков по другим научным направлениям [8]. Присущая данному генотипу предельная амплитуда индивидуальной изменчивости (следствие электромагнитной асимметрии порождающего источника), высокие темпы структурной эволюции и расширяющаяся область функционального применения АМ поступательного движения представляют тему для самостоятельного микроэволюционного анализа.

Исходя из имеющихся данных исторического анализа, очередное событие, изменившее структуру родового таксона плоских АМ, произошло спустя 60 лет. Конструкция плоского асинхронного двигателя с кольцевой многофазной обмоткой индуктора, которую в 1962 г. заявил в патентное ведомство сотрудник французской фирмы «Merlin Gerin» Y. Pelenc [17], положила начало эволюции очередного базового вида плоских АМ, имеющего в структуре генома рода (табл. 1) генетический код ПЛ 2.0х. Наличие в родительской хромосоме АМ источника поля, принадлежащего к

группе электромагнитной симметрии 2.0х, указывает на отсутствие первичных поперечных концевых эффектов и гомологическое родство с АМ поступательного движения рода цилиндрических (ЦЛ 2.0х).

Ряд преимуществ, присущих структурным представителям этого вида АМ (отсутствие лобовых частей обмотки, возможность увеличения активной поверхности при ограниченной длине индуктора, возможность получения более высокого энергетического фактора), стимулировали исследования, многочисленные усовершенствования его конструкции и тем самым обострили конкурентную борьбу с родственным видом ПЛ 2.2ху. Об этом свидетельствует, например, то обстоятельство, что в качестве конкурирующего варианта неоднократно предпринимались попытки практического использования плоских двигателей с кольцевыми обмотками в качестве тяговых для перспективных видов высокоскоростного наземного транспорта [6].

Рассмотренные виды имеют статус реально-информационных и составляют основу эволюции и практического использования структурного потенциала рода. Представленная на филогенетическом древе третья ветвь исторически возникла как результат первых попыток использования эвристического потенциала ГК в процессе ее создания. Приоритет изобретения порождающей структуры нового вида принадлежит Особому конструкторскому бюро линейных электродвигателей (г. Киев). С точки зрения классификационного анализа, порождающая структура этого вида относится к группе видов-близнецов базового вида-предшественника ПЛ 2.0х, которые характеризуются наличием пространственно-концентрической многофазной распределенной обмотки, синтезированной на источнике-изоопе ПЛ 2.0 х<sub>д</sub>. Структурное потомство этого вида по своей генетике не может быть использовано для реализации поступательного движения, но его применение весьма перспективно в качестве источников радиально ориентированных пространственных бегущих волн для специальных электрофизических установок и устройств технологического назначения с дискретными, упругодеформируемыми или жидкими проводящими средами.

Наличие информации о геноме исследуемого таксона и последующее ее сопоставление с данными исторического анализа развития ЭМПЭ, позволяет представлять на филогенетической диаграмме также системную информацию о геноме порождающих структур неявных видов. Понятие “неявные виды” обобщает характерное свойство надвидовых таксонов содержать системную информацию о геноме потенциально возможных видов ЭМ, структурные представители которых еще отсутствуют на данном этапе их эволюции. Наличие неявных видов отражает естественную инерционность темпов реального эволюционного процесса в пределах произвольного родового таксона, обусловленную результатами технико-экономического отбора и последующего создания наиболее конкурентоспособных видов машин, ограниченной областью решаемых прикладных задач и отсутствием системной методологии поиска формообразующих принципов.

Геном неявных видов рода плоских АМ содержит информацию о 14 генетически определенных порождающих структурах новых видов (трех видов базового

уровня и 11 видов-близнецов). Каждая порождающая структура обладает нетрадиционной геометрией активной поверхности и способностью к образованию

своего потомства при возникновении потребности и обеспечении соответствующих условий для их эволюции.

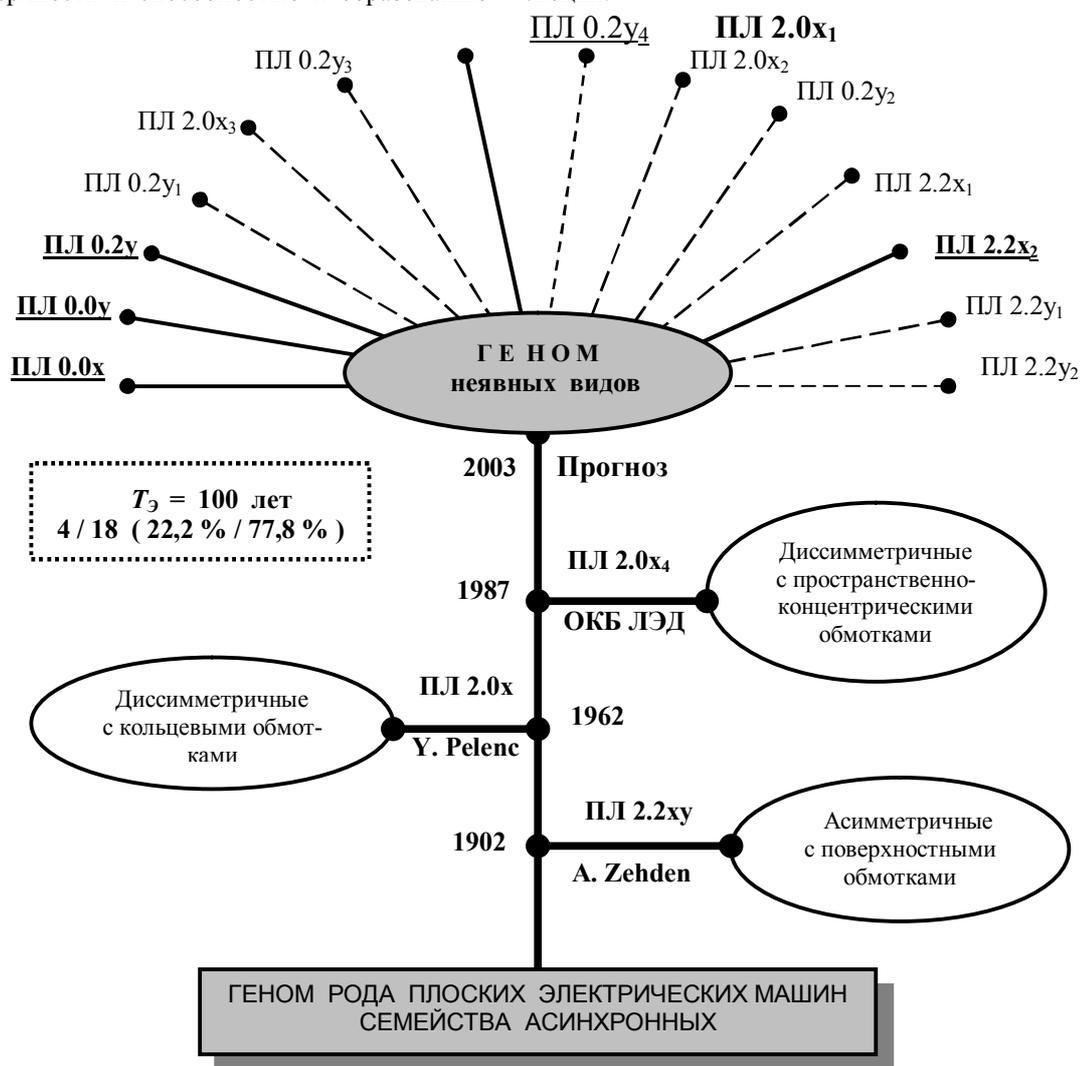


Рис. 2. Филогенетическое дерево эволюции и прогноз направлений дальнейшего видообразования рода плоских асинхронных машин

Обобщая результаты анализа филогенеза плоских АМ, можно констатировать, что за время эволюции рода, которое длится уже 100 лет, задействовано только четыре вида АМ из 18 потенциально возможных, что составляет 22,2% генетического потенциала рода. Результаты генетического анализа порождающих структур неясных видов обобщены в табл. 1.

На данном этапе эволюции генетическая база данных содержит избыточную информацию о структурном потенциале плоских АМ, но по мере появления новых научно-технических проблем, развития и освоения новых материалов и технологий неясные виды будут неизбежно приобретать статус реально-информационных. Уже сейчас можно выделить группу видов (на рис.2 их генетические коды выделены полужирным шрифтом с подчеркиванием), структурные представители которых обладают всеми необходимыми признаками патентоспособности и возможностью практической реализации. Наибольший интерес и вероятность ближайшего патентования представляет структурное потомство плоских АМ

(базовый вид **ПЛ 0.2y**) поступательного движения, техническая реализация которых, позволяет полностью исключить влияние как первичных, так и вторичных продольных концевых электромагнитных эффектов. Заслуживают также дальнейшего изучения и обобщения генетические свойства источников-изотопов, которые определяют наследственную информацию подавляющего большинства расшифрованных видов-близнецов в геноме неясных видов АМ.

#### МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ АСПЕКТ

Представленное на рис. 2 филогенетическое дерево эволюции АМ, наряду с исторически подтвержденной информацией о существующих видах, обладает принципиально новой, когнитивной информацией, являющейся источником новых идей и открытий. Возможность реализации предсказательной функции – отличительное и фундаментальное свойство систематики ЭМПЭ, открывающее принципиально новые возможности в реализации структурного мониторинга и направленного синтеза новых видов ЭМ. Такая ин-

формация может быть использована: для информационного обеспечения интеллектуальных систем генетического проектирования ЭМ-систем; при создании информационных баз данных; для постановки и последующего решения учебных и поисковых задач инновационной направленности; при построении филогенетической систематики ЭМПЭ; при разработке обобщенных математических моделей ЭМ и определении границ их корректного применения.

По своей структуре и фундаментальному свойству предсказания новых видов электрических машин, эволюционная систематика ЭМПЭ отвечает основным критериям естественной системы, что можно рассматривать как подтверждение правильности основных идей выдающегося систематика и философа современности А. А. Любищева, который считал, что систематика организмов должна не просто регистрировать наличное многообразие биологических видов, устанавливая их родство, а отражать закон, лежащий в основе как существующего так существовавшего многообразия видов. Образцом естественной системы он считал таблицу Менделеева, не только описывающую реально существующие химические элементы и их изотопы, но и предсказывающую элементы еще не обнаруженные в природе [4]. Если в теоретической биологии задача в такой постановке еще находится на стадии научной гипотезы, то в генетической электромеханике она уже нашла свое подтверждение. Открытие принципа периодичности первичных источников поля и установление его непосредственной связи с генетическими механизмами передачи и сохранения наследственной информации, а также с законом гомологических рядов развивающихся ЭМ-систем [10], позволяет по новому оценить острые дискуссионные проблемы, имеющие место в современной популяционной биологии и систематике организмов.

Систематика ЭМПЭ, имея в своей основе периодизированную структуру и обладая эвристическим потенциалом, свойственным системе химических элементов, по своим генетическим принципам, законам видообразования и таксономической структуре, является аналогом биологической системы. Но несмотря на наличие значительного числа аналогий и внешней общности таксономической и терминологической основы систематик в биологии и в электромеханике, систематика ЭМ имеет ряд принципиальных отличий, основные из которых можно обобщить следующими положениями:

- Методологическую основу эволюционной систематики ЭМПЭ составляет периодическая структура Генетической классификации первичных источников электромагнитного поля – естественная система порождающих элементов, обладающих индивидуальным генетическим кодом и генетическими принципами передачи и преобразования наследственной информации в процессе эволюции ЭМ-систем;

- Источниками видообразования является упорядоченная система генетически определенных первичных источников электромагнитного поля, выполняющих роль родительских электромагнитных хромосом и содержащих наследственную информацию о видовом разнообразии ЭМПЭ;

- Основные систематические единицы, имеющие ранг базового вида, рода и семейства, образуются в

результате реального эволюционного процесса, происходящего на системной генетической основе в результате научно-технической и инновационной деятельности человека;

- Таксономическая структура эволюционной систематики ЭМ обладает фундаментальным прогностическим свойством, что позволяет восстанавливать на филогенетическом дереве недостающие ветви (систематические единицы), еще отсутствующие на текущее время эволюции ЭМ и тем самым осознанно управлять процессом отбора и создания новых классов ЭМ-систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
- [2] Калнинь Т.К. Линейные индукционные машины с поперечным магнитным потоком. – Рига: Зинатне, 1980. – 170.
- [3] Крыжановский Л.Н. Электрические машины в XVII в. и в начале XVIII в. / Электричество. - 1988. - № 3. – С. 84 - 86.
- [4] Любищев А.А. Линии Демокрита и Платона в истории культуры. – СПб.: Алетейя, 2000. – 256 с.
- [5] Майр Э. Принципы зоологической систематики. – М.: Мир, 1971. – 454 с.
- [6] Паскаль Ж.-П. Линейный электродвигатель Жана Гембаля. // Железные дороги мира. – 1981. - №1. –С. 63-66.
- [7] Пат. № 12581 (Англия). Electric railwaus, lifts, machine / Zehden A.
- [8] Петленко Б.И. Линейный электропривод и тенденции его развития // Электричество. – 1981. - №9. – С. 43-47.
- [9] Попов А.Д., Соломин В.А. и др. Линейные асинхронные двигатели с поперечным замыканием магнитного потока. Перспективы применения на транспорте и в промышленности // Сб. науч. Тр. «Перспективы применения линейных электродвигателей на новых видах транспорта». – К.: УкрНИИТИ, 1979. –С. 101-108.
- [10] Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
- [11] Шинкаренко В.Ф. Принцип парности в электромеханических структурах // Техн. электродинамика. – 2000. -№ 6. – С. 53 – 57.
- [12] Шинкаренко В.Ф. Принципы построения эволюционной систематики структур электромеханических систем // Техн. электродинамика. - 2000. - № 2. - С. 45 – 49.
- [13] Шинкаренко В.Ф., Платкова Н.А. Категория рода в таксономической структуре эволюционной систематики электрических машин // Електротехніка і електромеханіка, 2003. - № 2. – С. 61-66.
- [14] Шинкаренко В.Ф., Чумак В.В., Даниляк П.И. Генетическая классификация и область существования пространственных структур многофазных обмоток электрических машин. – Вестник Харьковского государств. политехн. университета. Вып. 84. – Харьков, 2000. – С. 199 – 202.
- [15] Laithwaite E.R., Eastham J.F., Bolton H.R., «Linear motors with transverse flux», *Proc. IEEE*, vol. 118, №12. pp/ 1761-1767, 1971.
- [16] Laithwaite E.R., Nasar S.A. «Linear-motion electrical machines», *Proc. IEEE*, vol. 58., №4, pp/ 531-542, 1970.
- [17] Pelenc Y. [Merlin Gerin]. Франц. Патент № 1508353, кл. Н 02k, заявл. 01.11.1962, опубл. 13.11.1967.
- [18] Yamada H. Handbook of linear motor applications. – Kogyo, Chosakai Publishing Co. Ltd. Printed in Japan, 1986. - 582 p.

Поступила 28.08.2003