

УДК 621.313

В. Ф. ШИНКАРЕНКО, А. А. ШИМАНСКАЯ, Ю. В. ГАЙДАЕНКО**СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОМАШИНЫХ АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОГРАММ**

Аналізуються принципи структурної організації і генетичні програми структуроутворення складних агрегатів, що містять низку фізично і функціонально взаємопов'язаних електромеханічних перетворювачів енергії. На прикладі двома шинних агрегатів подвійного обертання розглянута послідовність реалізації процедур інноваційного синтезу електромеханічних структур по їх генетичним програмам. Розроблена узагальнена (дивергентно-конвергентна) генетична модель, за допомогою якої визначено структурні формули, які задовольняють заданій функції синтезу. Результати досліджень розглядаються як важливий крок на шляху створення системної методології генетичного проектування складних технічних систем з електромеханічними перетворювачами енергії.

Ключові слова: електромашинний агрегат, обертовий індуктор, принципи структуроутворення, генетична програма, генетична модель, структурний синтез, генетичний банк даних, генетичне проектування.

Анализируются принципы структурной организации и генетические программы структурообразования сложных агрегатов, содержащих ряд физически и функционально взаимосвязанных электромеханических преобразователей энергии. На примере двухмашинных агрегатов двойного вращения рассмотрена последовательность реализации процедур инновационного синтеза электромеханических структур по их генетическим программам. Разработана обобщенная (дивергентно-конвергентная) генетическая модель, при помощи которой определены структурные формулы, удовлетворяющие заданной функции синтеза. Результаты исследований рассматриваются как важный шаг на пути создания системной методологии генетического проектирования сложных технических систем с электромеханическими преобразователями энергии.

Ключевые слова: электромашинный агрегат, вращающийся индуктор, принципы структурообразования, генетическая программа, генетическая модель, структурный синтез, генетический банк данных, генетическое проектирование.

The principles of structural organization and genetic programs of **electric machinery** units containing a number of physically and functionally interrelated electromechanical energy converters structure appearing are shown. At example of two-machine units double rotation sequencing of innovative synthesis procedures of electromechanical structures in their genetic programs are reviewed. The generalized (convergent-divergent) genetic model was created. By generalized genetic model structural formulas that satisfy the specified synthesis function were defined. Scientifically proved that electric machinery units are genetically certain class of electromechanical systems, which principles of structure appearing are determined by genetic replication and operators crossing (hybridization) allows the formation of the isomeric composition. According to the given synthesis function defined macrogenetic program of electric machinery units represented by the 5th parental chromosomes of 0.2 series and 10th homologous chromosomes of the hybrid type, which define genetic diversity of allowable units of double rotation. For the dominant species of double rotating machines for the first time developed a generalized genetic model by which the three genetic routines and received 9 structural formulas that satisfy the specified synthesis functions are defined. Based on the results of genetic modeling was done directed synthesis genetically permissible structures. Genetic data bank was created and developed competitive solutions of two-machine units double rotation. The conceptual model of the technology of genetic engineering of complex electromagnetic system, comprising a logical sequence of interrelated steps, search procedures and methods for the identification and decoding of genetic programs, systems analysis and synthesis of structure formation models, implementing the functions of the structural prediction algorithms and directed synthesis of complex structures on a given objective function were proposed. The research results are seen as an important step towards the creation of a systematic methodology of genetic engineering of complex technical systems with electromechanical energy converters.

Keywords: electromachine unit, rotating inductor, principles of structure appearing, genetic program, genetic model, structural synthesis, genetic data bank, genetic engineering.

Введение. Современный этап развития науки и техники характеризуется усложнением создаваемых технических систем, структурным и функциональным совмещением объектов различной физической природы, расширением их разнообразия, растущей конкуренцией и усиливающимся техногенным давлением на окружающую среду. По мере усложнения технических систем возможности отдельного специалиста в принятии не только оптимальных, но и вообще рациональных решений становятся все более ограниченными. По этой причине подавляющее большинство технических новшеств ограничивается лишь усовершенствованием существующих базовых конструкций. В этой связи особую актуальность приобретают технологии и междисциплинарные методы синтеза новых образцов техники, интегрирующие новейшие научно-технические достижения из различных областей знаний, и максимально использующие алгоритмы природы [1]. В ряду технологий синтеза, используемых живой природой, ключевое значение принадлежит генетическому синтезу, особенность которого заключается в том, что он осуществляется в строгом соот-

ветствии с генетической программой, содержащей полную информацию о генетически допустимом разнообразии порождающих структур. Эффективность генетического синтеза подтверждается результатами эволюционного эксперимента продолжительностью в 10 млн. лет. Самый сложный объект природного синтеза – человек, структурно состоящий из 7×10^{27} атомов, сгруппированных в молекулы, из которых синтезировано около 10^{13} клеток [2]. По прогнозам ведущих футурологов, будущее человечества в значительной степени определяется успехами междисциплинарных технологий синтеза, основанных на фундаментальных принципах наследственности [3–5].

Анализ предыдущих исследований. Современная концепция генетической коэволюции основана на сосуществовании и равновесном развитии генетически организованных систем (ГОС), к которым относятся не только сообщества живых организмов, но и развивающиеся системы различной физической природы, в том числе, антропогенного происхождения [6]. Одними из доказательств этой гипотезы стали результаты фундаментальных, прикладных и экспери-

© В.Ф. Шинкаренко, А.А. Шиманская, Ю.В. Гайдаенко, 2016

ментальних досліджень, здійснених в останнє час на основі теорії генетическої еволюції електромеханіческих систем (ЕМ-систем) [6–11] в області генетическої електромеханіки, на основі яких встановлено, що:

- генетическа еволюція техніки представляє собою процес синтезу і удосконалення структур-потомків, здійснюваного людиною на кінцевому множинстві цілих структур, іменуючих статус породжуючих, в строгому відповідності з їх генетическими програмами;

- системним носіелем елементного і інформаційного базису, представленного генетическими кодами, виступає генетическа класифікація (ГК) первічних істочників електромагнітного поля;

- породжуюча періодическа система первічних істочників електромагнітного поля устанавлює єдиний принцип кодирования генетическої інформації і визначає ізначально заданную структурно-інформаційную упорядоченность, наблюдаемую на всех уровнях структурной організації ЕМ-систем;

- допустимое генетическими програмами різнообразіе породжуючих електромеханіческих структур (ЕМ-структур) містить упорядоченную інформацію як о возникших історически, так і о потенціально возможных структурах визначеного класу ЕМ-систем;

- генетическі програми і створені на їх основі генетическі банки даних (ГБД), складають науко-методологіческую основу в стратегії інноваційного синтезу електромеханіческих об'єктів (ЕМ-об'єктів) і управління інноваціями в техніческіх системах, містять електромеханіческі преобразователи енергії (ЕМПЭ).

Таким образом, задачи определения генетических программ и удосконалення методології направленного синтеза ЕМ-структур по заданной функции цели, относятся к актуальному направлению научных исследований генетической електромеханіки.

Целью работ является адаптация методов генетического синтеза, реализуемого на основе результатов расшифровки генетических программ, применительно к функциональному классу много-машинных агрегатов двойного вращения. Задача в такой постановке решается впервые.

Принципы структурной организации электро-машинных агрегатов двойного вращения. Первые промышленные образцы электрических машин двойного вращения появились в 20-х годах прошлого столетия. Фирмой «General Electric Company» были разработаны синхронные двигатели с улучшенными пусковыми свойствами, которые обеспечивались использованием поворотного статора (рис. 1, а) [12], а заводом «Мэзон Брегет» – асинхронные двигатели двойного вращения, обеспечивающие безреостатный пуск по схеме, предложенной изобретателем двойной клетки инженером Полем Бушеро (рис. 1, б) [13].

На данное время технической эволюции электрические машины и многомашинные агрегаты двойного

вращения образуют отдельный функциональный класс ЭМ-систем с широкой областью практического применения [14–16]. Функционирование таких систем осуществляется на основе принципа инвариантности относительной угловой скорости ротора и индуктора в широком диапазоне изменения скорости выходного вала, благодаря свойству алгебраического сложения угловых скоростей его вращающихся частей – ротора и вращающегося индуктора [16]

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_{ном} \tag{1}$$

где ω_1 – угловая скорость вращения статора;

ω_2 – угловая скорость ротора;

$\omega_{ном}$ – номинальная скорость двигателя (относительная скорость ротора и статора).

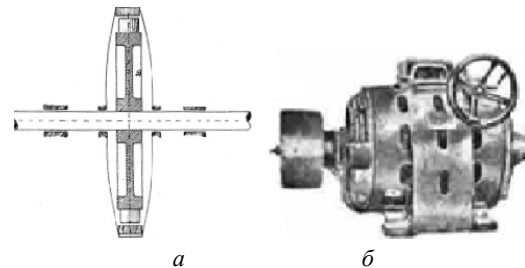


Рис. 1 – Первые электрические машины двойного вращения: а – синхронный двигатель «General Electric Company» (США); б – асинхронный двигатель с безреостатным пуском завода Мэзон Брегет (Франция)

Равенство (1) сохраняется, если одна из вращающихся частей (ротор или индуктор) изменит направление вращения, т.е. обе части двигателя будут вращаться в одном направлении с угловыми скоростями, отличающимися по величине на $\omega_{ном}$. Указанное свойство машин двойного вращения позволяет регулировать скорость в широких пределах (от $n_2 = 0$ до скоростей, в несколько раз превышающих номинальную), при условии обеспечения постоянства мощности во всем диапазоне регулирования, без применения дорогостоящих электронных преобразователей и систем управления.

Исходя из анализа генетических принципов структурообразования, исследуемый класс ЭМ-объектов можно рассматривать как результат усложнения (модификации) генетически предрасположенных родительских хромосом с использованием тех генетических операторов синтеза, которые обеспечивают образование многоэлементных пространственных композиций (изомерных групп) [6–11]. Такими свойствами наделены два генетических преобразования:

- репликация (с коэффициентом репликации $k \geq 2$) по отношению к произвольной парной электромагнитной осесимметричной хромосоме $C_i \in S_i$ с у-ориентированной волной магнитного поля

$$f_R(C_i)_{k=2} = (C_{i1}, C_{i2}, \dots) \subset S_i, \tag{2}$$

где: f_R – генетический оператор репликации;

(C_{i1}, C_{i2}, \dots) – изомерная группа (при $k \geq 2$);

S_i – вид ЭМ-объектов, популяции которого представлены последовательностями структур-потомков, удовлетворяющих заданной функции синтеза F_S ;

- скрещивание (гибридизация) по отношению к гомологичным парным хромосомам

$$f_S(C_i, C_{i+1...}) = (C_1 \times C_2, C_1 \times C_3, \dots) \subset H_i, \quad (3)$$

где: $(C_1 \times C_2, C_1 \times C_3, \dots)$ – изомерная группа комбинаторных скрещиваний гибридных электромагнитных хромосом в пределах гомологического ряда H_i .

Принципы структурообразования многомашиных агрегатов, представленные уравнениями (2–3) позволяют конкретизировать область поиска допустимых решений в пределах заданного поискового пространства R^n и определить их генетическую макропрограмму.

Генетическая программа электромашиных агрегатов двойного вращения. Наличие генетической программы – фундаментальное свойство и необходимое условие развития сложных систем с наследственностью. Генетической программой произвольного класса ЭМ-систем является конечное, упорядоченное множество электромагнитных хромосом, генетически предрасположенных к реализации заданной функции цели и выступающими носителями информации по отношению к разнообразию структур-потомков [8,17]. Исходя из анализа генетической организации ЭМ-систем, можно выделить три основных уровня представления генетических программ:

- системный (макроуровень), определяющий элементное и таксономическое (видовое и родовое) разнообразие эволюционирующих классов ЭМ-объектов;
- видовой (микроуровень), определяющий структуру внутривидового (геномного, популяционного) разнообразия электромагнитных и электро-механических структур;
- объектный, генетические программы которого отображают уровень генетической сложности структуры произвольного ЭМ-объекта.

Программы макроуровня выполняют роль системного носителя информации для анализа программ микроуровня. В генетически организованных системах функцию системного носителя информации о программах макрогенетического уровня, выполняет периодическая система порождающих элементов. Применительно к произвольным функциональным классам ЭМ-систем, функцию глобальной макропрограммы выполняет ГК первичных источников электромагнитного поля. В науках о живой природе генетические программы макроуровня пока не исследуются по причине отсутствия порождающей периодической системы биологических генетических кодов, поиск которой фактически не прекращается с момента открытия Д. И. Менделеевым периодической системы химических элементов [18].

В качестве системного носителя генетической информации о программах микрогенетического уровня выступает универсальный генетический код. Заключенная в структуре кода генетическая информация, совместно с правилами генетического синтеза, определяет принципы структурообразования геномов и популяций ЭМ-объектов, включая популяции электромагнитных структур-изомеров. Генетической программе определенного уровня ставятся в соответствие конкретный носитель генетической информации, соответствующий аксиоматический и элементный базис, а также определенные классы задач структурного

синтеза. Для корректного определения макрогенетической программы функционального класса электромашиных объектов двойного вращения сформулируем требования, определяющие интегральную функцию поиска F_S в многомерном пространстве R^n . Основное условие формирования F_S заключается в том, чтобы частичные требования были генетически распознаваемы. К таким требованиям относятся:

- двухмашинное исполнение агрегата ($N_{ЭМ} = 2$);
- наличие вращающегося индуктора ($N_{I\omega}$);
- наличие трехфазной распределенной обмотки на статоре и вращающемся индукторе ($m = 3$) $_{02y}$;
- осесимметричная компоновка активных частей $(A_1, A_2)_{OX}$;
- возможность получения инверсного вращения и одновременного использования не менее двух различных частот вращения $(\omega_A, \omega_B^{-1})$.

С учетом сформулированных требований, интегральную функцию поиска представим в виде многомерного вектора

$$F_S = [N_{ЭМ} = 2; N_{I\omega}; (m=3)_{02y}; (A_1, A_2)_{OX}; \omega_A, \omega_B^{-1}] \subset R^n \quad (4)$$

Требования $N_{ЭМ} = 2$ и $(m = 3)_{02y}$ реализуется через системный принцип репликации. Условие обеспечения вращающегося индуктора на хромосомном уровне моделируется заменой неподвижной первичной хромосомы на подвижную. Обеспечение соосности активных частей агрегата учитывается на этапе анализа и выбора изомерных композиций хромосом. Требование $(\omega_A, \omega_B^{-1})$ обеспечивается на этапе отбора хромосом, генетически предрасположенных к реализации вращающейся волны поля с последующим применением оператора электромагнитной инверсии.

В качестве ограничений области поиска принимаем следующие: поисковое пространство ограничиваем элементарным базисом первого большого периода ГК; поиск производим в пределах подгруппы 0.2y, представленной «идеальным» гомологическим рядом родительских хромосом; рассматриваются структуры, обеспечивающие в воздушном зазоре вращающуюся волну поля; источники-изотопы на данном этапе исследований не учитываются. Наличие указанных ограничений сокращает раз-мерность поискового пространства R^n , обеспечивает направленность процесса поиска и делает его сходящимся. С учетом принятых допущений, область искомых решений в предметной области ГК ограничивается 5 родительскими хромосомами:

$$G_{02y} = (ЦЛ 0.2y; КН 0.2y; ТП 0.2y; СФ 0.2y; ТЦ 0.2y) \quad (5)$$

При этом каждая хромосома ряда (4) допускает образование двух изомерных композиций радиального (OZ) и аксиального (OX) типа

$$C_i \rightarrow [(2S_{0.2y})_{OZ}; (2S_{0.2y})_{OX}] \subset G_{02y} \quad (6)$$

Таким образом, генетическая макропрограмма двухмашинных агрегатов, с учетом принятых ограничений, представлена 5-ю порождающими структурами, образующими 10 изомерных композиций.

Принципы структурообразования гибридных

ЭМ-структур определяет оператор скрещивания исходных родительских хромосом, имеющих различия в составляющих генетической информации. С учетом ранее принятых ограничений и гомологии скрещиваемых хромосом, искомая генетическая подпрограмма гибридных ЭМ-структур представлена 10-ю комбинациями гибридных хромосом:

$$(ЦЛ 0.2y) \times (КН 0.2y) = 0.2(ЦЛ \times КН)y; \quad (7)$$

$$(ЦЛ 0.2y) \times (ТП 0.2y) = 0.2(ЦЛ \times ТП)y; \quad (8)$$

$$(ЦЛ 0.2y) \times (СФ 0.2y) = 0.2(ЦЛ \times СФ)y; \quad (9)$$

$$(ЦЛ 0.2y) \times (ТЦ 0.2y) = 0.2(ЦЛ \times ТЦ)y; \quad (10)$$

$$(КН 0.2y) \times (ТП 0.2y) = 0.2(КН \times ТП)y; \quad (11)$$

$$(КН 0.2y) \times (СФ 0.2y) = 0.2(КН \times СФ)y; \quad (12)$$

$$(КН 0.2y) \times (ТЦ 0.2y) = 0.2(КН \times ТЦ)y; \quad (13)$$

$$(ТП 0.2y) \times (СФ 0.2y) = 0.2(ТП \times СФ)y; \quad (14)$$

$$(ТП 0.2y) \times (ТЦ 0.2y) = 0.2(ТП \times ТЦ)y; \quad (15)$$

$$(СФ 0.2y) \times (ТЦ 0.2y) = 0.2(СФ \times ТЦ)y. \quad (16)$$

Так как скрещиваемые родительские хромосомы относятся к одному гомологическому ряду, то синтезированные структуры будут иметь статус пространственных моногибридов. Конечное множество порождающих структур (7–16) устанавливает допустимые пределы видовой изменчивости исследуемого класса гибридных ЭМ-систем.

При условии наличия результатов патентно-информационного поиска по объекту исследования, определяется видовое разнообразие неявных видов N_{SF} , структурные представители которых еще отсутствуют на текущее время эволюции исследуемого класса ЭМ-объектов

$$N_{SF} = \Sigma N_S - N_H \quad (17)$$

где: ΣN_S – генетически допустимое разнообразие видов исследуемого класса ЭМ-объектов, определенное по результатам анализа его макро-генетической программы;

N_H – количество видов, возникших в процессе технической эволюции класса.

Уравнение (17) отображает результат структурного предвидения и представляет собой формализованную запись закона устойчивости видовых форм в ГОС. Дальнейшая локализация области синтеза осуществляется на этапе выбора доминирующих видов ЭМ-объектов, который реализуется с учетом обобщенного критерия межвидовой конкуренции $\Sigma K \rightarrow \max$, учитывающего ожидаемый уровни унификации основных конструктивных узлов, технологичности и конструктивной сложности структур-потомков. С учетом указанного критерия, наибольший практический интерес представляют гомологичные виды, синтезированные на основе родительских хромосом $2ЦЛ 0.2y$ и $2ТП 0.2y$, а также гибридный вид с хромосомой моногибридного типа $0.2(ЦЛ \times ТП)y$. Генетические коды указанных родительских хромосом выполняют функцию порождающих для синтеза генетической модели и определения внутривидовой программы доминирующих видов.

Синтез и анализ генетической модели структурообразования электромашинных агрегатов двойного вращения. В задачах генетического анализа

и синтеза ЭМ-структур внутривидовые генетические модели представляют микроуровень модельного пространства системной модели. Генетические модели позволяют определить допустимые варианты структур и получить их структурные формулы на уровне отдельных объектов с точностью до элементарного генетического преобразования.

Общность элементного и информационного базиса, полученного по результатам анализа генетических программ реплицированных и гибридных структур позволяет использовать для дальнейшего анализа обобщенную генетическую модель дивергентно-конвергентного типа (рис. 2). Синтез модели осуществляется в соответствии с принципом информационной преемственности «от простого к сложному», путем последовательного использования генетических операторов скрещивания, репликации, пространственной инверсии и кроссинговера. Узлы древовидной модели соответствуют определенному уровню сложности хромосом, а ориентированные межузловые ветви отображают последовательность преобразований, осуществляемых применением соответствующих генетических операторов синтеза. Каждому узловому событию ставится в соответствие определенная генетическая информация, отображаемая структурной формулой. Структура модели характеризуется 6-ю уровнями сложности: нулевой уровень представлен исходными родительскими электромагнитными хромосомами; уровни 1–4 отображают структуру генома одно- и двухмашинных агрегатов, представленную соответствующими генетически модифицированными хромосомами; популяции возможных технических решений представлены в иерархии модели 5-м уровнем сложности.

Синтезированная модель (рис. 2) отображает три возможных сценария структурообразования исследуемого класса ЭМ-объектов и графически отображает их внутривидовую программы G_{S02} :

$$G_{S02} = (G_{ЦЛ}, G_{ТП}, G_{ЦЛ \times ТП}), \quad (18)$$

$$\text{где: } G_{ЦЛ} = (S_{11}, S_{201}, S_{3011}, S_{3012}, S_{4011}); \quad (19)$$

$$G_{ТП} = (S_{12}, S_{202}, S_{3021}, S_{3022}, S_{4022}); \quad (20)$$

$$G_{ЦЛ \times ТП} = (S_{212}, S_{3121}, S_{3122}, S_{4121}); \quad (21)$$

Упорядоченное множество порождающих хромосом (19–21) определяет две подпрограммы реплицированных ЭМ-структур с цилиндрической и торoidalной плоской активной зоной (дивергентные боковые ветви модели) и подпрограмму гибридных структур (конвергентная ветвь модели). Симметрия траекторий структурообразования боковых ветвей модели указывает на параллелизм (гомологичность) синтезированных структур, что является логическим следствием принадлежности родительских хромосом к одной подгруппе (0.2y) в структуре ГК. Результаты расшифровки внутривидовых подпрограмм приведены в табл. 1. Результаты анализа показывают, что внутривидовая генетическая программа ЭМ-объектов двойного вращения представлена набором из 14-и хромосом (без учета двух родительских), которые определяют геном двух доминирующих видов.

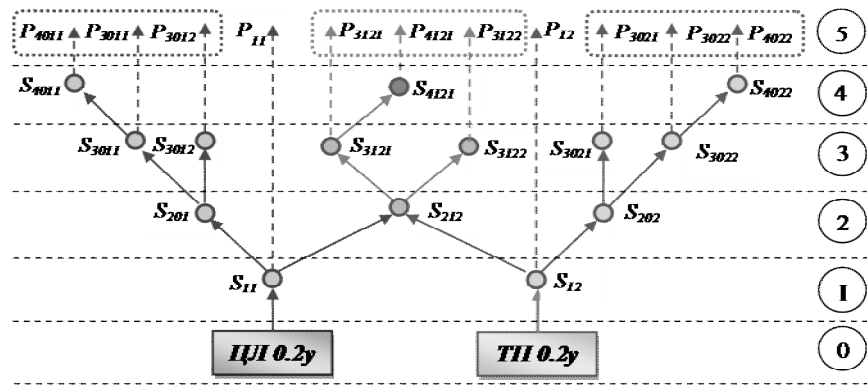


Рис. 2 – Обобщенная генетическая модель структурообразования многомашинных агрегатов с вращающимся индуктором: ЦЛ 0.2y, ТП 0.2y – родительские хромосомы; S₁₁, S₁₂ – порождающие хромосомы одномашинных агрегатов; S₂₀₁, S₃₀₁₁, S₃₀₁₂, S₃₀₂₁, S₃₀₂₂, S₄₀₁₁, S₄₀₂₂, S₄₁₂₁ – хромосомный набор двухмашинных агрегатов: S₄₀₁₁ – рода цилиндрических; S₂₀₂, S₃₀₂₁, S₃₀₂₂ – рода тороидальных плоских; S₂₁₂, S₃₁₂₁, S₃₁₂₂, S₄₁₂₁ – гибридного типа; (P₁₁ – P₄₁₂₁) – популяции технических решений; 0–4 – уровни генетической сложности ЭМ-хромосом; 5 – уровень технических решений

По статусу хромосом, структура программы содержит 5 хромосом информационного типа (S₁₁, S₁₂, S₂₀₁, S₂₀₂, S₂₁₂) и 9 хромосом (S₃₀₁₁, S₃₀₁₂, S₃₁₂₁, S₃₁₂₂, S₃₀₂₁, S₃₀₂₂, S₄₀₁₁, S₄₀₂₂, S₄₁₂₁) со статусом порождающих. Последние образуют три популяции структур-потомков, удовлетворяющих заданной F_S:

- реплицированных структур рода ЦЛ
 $(S_{3011}, S_{3012}, S_{4011}) \rightarrow (P_{3011}, P_{3012}, P_{4011}) \subset P_{ЦЛ};$ (22)

- реплицированных структур рода ТП
 $(S_{3021}, S_{3022}, S_{4022}) \rightarrow (P_{3021}, P_{3022}, P_{4022}) \subset P_{ТП}$ (23)

- гибридных структур
 $(S_{3121}, S_{3122}, S_{4121}) \rightarrow (P_{3121}, P_{3122}, P_{4121}) \subset P_{ЦЛ \times ТП}$ (24)

Дивергентные ветви модели представлены гомологическими вариантами аксиальных и радиальных изомерных композиций (изомерные пары S₃₀₁₁ ↔ S₃₀₁₂ и S₃₀₂₁ ↔ S₃₀₂₂), которые для структур с осевой симметрией образуют два варианта их пространственной компоновки – с радиальным и аксиальным (OZ- и OX-изомеры соответственно) размещением активных частей. Конвергентная ветвь

модели представлена двумя изомерными композициями гибридного типа:

- с цилиндрическим статором и тороидальным вращающимся индуктором
 $S_{3122} = [(ЦЛ 0.2y)_1; (ЦЛ 0.2y)_2] \times [(ТП 0.2y)_1; (ТП 0.2y)_2]_{\omega}$ (25)

- с тороидальным статором и цилиндрическим вращающимся индуктором
 $S_{3121} = [(ЦЛ 0.2y)_1; (ЦЛ 0.2y)_2]_{\omega} \times [(ТП 0.2y)_1; (ТП 0.2y)_2]$ (26)

Применение оператора пространственной инверсии по отношению к информационным хромосомам-репликаторам S₂₀₁, S₂₁₂ и S₂₀₂ порождает соответствующие изомерные группы: с внешним и внутренним расположением индуктора относительно высокоскоростного ротора:

$$f_1(S_{201}) = \{[(ЦЛ 0.2y)_1; (ЦЛ 0.2y)_2]_{\omega}; [(ЦЛ 0.2y)_1; (ЦЛ 0.2y)_2]_{\omega^{-1}}\}$$
 (27)

$$f_1(S_{202}) = \{[(ТП 0.2y)_1; (ТП 0.2y)_2]_{\omega}; [(ТП 0.2y)_1; (ТП 0.2y)_2]_{\omega^{-1}}\}$$
 (28)

$$f_1(S_{212}) = \{[(ТП 0.2y)_1; (ТП 0.2y)_2]_{\omega}; [(ЦЛ 0.2y)_1; (ЦЛ 0.2y)_2]_{\omega^{-1}}\}$$
 (29)

Таблица 1 – Результаты расшифровки генетических подпрограмм электромашинных агрегатов двойного вращения

Код хромосомы	Структурная формула электромагнитной хромосомы	Статус хромосомы
S ₀₁	ЦЛ 0.2y	Родительская рода ЦЛ
S ₀₂	ТП 0.2y	Родительская рода ТП
S ₁₁	(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂	Парная хромосома ЦЛ (порождающая для N ₁ =1; N ₂ =1)
S ₁₂	(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂	Парная хромосома ТП (порождающая для N ₁ =1; N ₂ =1)
S ₂₀₁	2[(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂]	Хромосома-репликатор (k _r =2) ЦЛ (информационная)
S ₂₀₂	2[(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂]	Хромосома-репликатор (k _r =2) рода ТП (информационная)
S ₂₁₂	[(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂] × [(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂]	Гибридная (информационная)
S ₃₀₁₁	2[(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂] _{OX}	Реплицированная хромосома рода ЦЛ, аксиальный изомер OX (порождающая)
S ₃₀₁₂	2[(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂] _{OZ}	Реплицированная хромосома рода ЦЛ, радиальный изомер OZ (порождающая)
S ₃₁₂₁	[(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂] _ω × [(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂]	Гибридная, изомер с внешним вращающимся цилиндрическим источником поля (порождающая)
S ₃₁₂₂	[(ЦЛ 0.2y) ₁ ; (ЦЛ 0.2y) ₂] × [(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂] _ω	Гибридная, изомер с вращающимся источником поля рода ТП (порождающая)
S ₃₀₂₁	2[(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂] _{OX}	Реплицированная хромосома рода ТП, аксиальный изомер (порождающая)
S ₃₀₂₂	2[(ТП 0.2y) ₁ ; (ТП 0.2y) ₂] _{OZ}	Реплицированная хромосома рода ТП, радиальный изомер с внешним вращающимся источником поля (порождающая)

Продолжение таблицы 1

S_{4011}	$\{(ЦЛ\ 0.2y)_1; [(ЦЛ\ 0.2y)_2]; [(ЦЛ\ 0.2y)_1; (ЦЛ\ 0.2y)_2]^{-1}\}_{OX}$	Реплицированная хромосома рода ЦЛ, аксиальный изомер OX с внутренним источником поля (порождающая)
S_{4022}	$\{(ТП\ 0.2y)_1; [(ТП\ 0.2y)_2]; [(ЦЛ\ 0.2y)_1; (ЦЛ\ 0.2y)_2]^{-1}\}_{OX}$	Реплицированная хромосома рода ЦЛ, радиальный изомер с внутренним источником поля (порождающая)
S_{4121}	$[(ЦЛ\ 0.2y)_1; (ЦЛ\ 0.2y)_2]_{\omega}^{-1} \times [(ТП\ 0.2y)_1; (ТП\ 0.2y)_2]$	Гибридная, изомер с внутренним вращающимся цилиндрическим источником поля (порождающая)

Предложенная обобщенная генетическая модель содержит информацию для одно- и двухмашинного исполнения агрегатов, а при необходимости может быть расширена для трех- и многомашинных агрегатов (увеличением размерности коэффициента репликации $k > 2$).

Генетический синтез и практическая реализация результатов исследования. Полученные по результатам моделирования структурные формулы (табл. 1) составляют информационную основу для осуществления направленного синтеза ЭМ-структур.

Процедура синтеза реализуется методом горизонтального переноса генетической информации с последующей графической визуализацией структур, с учетом заданных исходных требований и принятых ограничений. Направленность синтеза обеспечивается соответствующими траекториями структурообразования генетической модели и наличием детерминированного соответствия между генетической предрасположенностью порождающих хромосом, представленных их структурными формулами, и

структурными признаками активных частей синтезированных объектов-потомков. Примеры синтезированных структур двухмашинных агрегатов с вращающимся индуктором представлены на рис. 3.

Синтезированные структуры представляют собой пространственные изомерные композиции радиального (рис. 3, а) и аксиального (рис. 3, б) типа, которые сгенерированы на гомологичных порождающих хромосомах S_{3012} и S_{3021} по их структурным формулам:

$$S_{3012} = 2[(ЦЛ\ 0.2y)_1; (ЦЛ\ 0.2y)_2]_{OZ} \quad (30)$$

$$S_{3021} = 2[(ТП\ 0.2y)_1; (ТП\ 0.2y)_2]_{OX} \quad (31)$$

Синтезированные ЭМ-структуры обладают системными (соответствие требованиям F_S) и индивидуальными свойствами. Поэтому, выбор требуемого варианта осуществляется на основе исходных требований и сравнительного анализа их индивидуальных признаков, представленных в табл. 2

Таблица 2 – Сравнительный анализ индивидуальных признаков синтезированных структур (фрагмент)

Существенный индивидуальный признак	Варианты синтезированных ЭМ-структур								
	$G_{ЦЛ}$			$G_{ТП}$			$(G_{ЦЛ} \times G_{ТП})$		
	S_{3011}	S_{3012}	S_{4011}	S_{3021}	S_{3022}	S_{4022}	S_{3121}	S_{3122}	S_{4121}
Минимальный радиальный габарит	•		•						
Минимальный аксиальный габарит		•			•	•			
Наличие типовых узлов (унификация)	•		•					•	•
Отсутствие консольного крепления вращающихся масс				•		•		•	
Возможность совмещения магнитной системы индуктора и ротора	•	•		•					
Минимальное количество подшипниковых опор			•	•				•	•

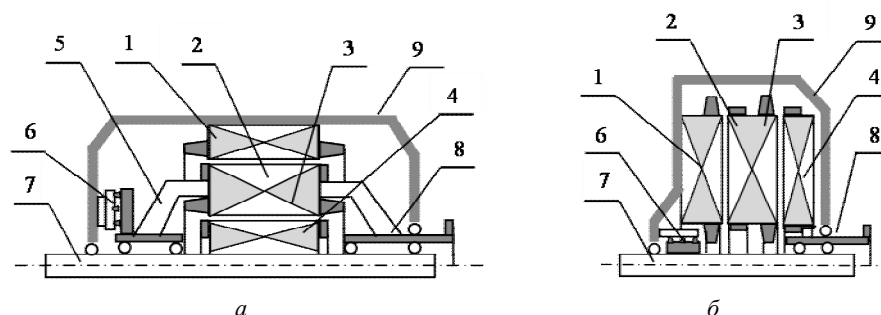


Рис. 3 – Примеры синтезированных структур электромашиных агрегатов двойного вращения:

а – рода ЦЛ (хромосома S_{3012}); б – рода ТП (хромосома S_{3021}):

- 1 – статор двигателя первой ступени; 2 – ротор первичного двигателя; 3 – вращающийся индуктор вторичного двигателя; 4 – высокоскоростной ротор; 5 – силовой кронштейн;
- 6 – токосъемный узел; 7 – центральный вал;
- 8 – полый полувал; 9 – корпус



Рис. 4 – Последовательность основных процедур в методологии генетического проектирования сложных электромеханических систем

Перечень и степень весомости существенных признаков может изменяться в зависимости от исходных требований проекта. Дальнейшая адаптация синтезированных структур осуществляется известными методами параметрической оптимизации. По результатам синтеза разработано ряд конкурентно-способных технических решений и создан генетический банк данных по двухмашинным агрегатам двойного вращения.

Рассмотренная последовательность представляет собой концептуальную модель генетического подхода к проектированию сложных ЭМ-систем (рис. 4), которая включает совокупность взаимосвязанных этапов и поисковых процедур по определению и анализу генетических программ, синтезу моделей структурообразования, реализации функций структурного предвидения и алгоритмов направленного синтеза. Если генетический синтез в пределах некоторого функционального класса ЭМ-систем осуществляется впервые, то по его результатам создается генетический банк данных (ГБД), содержащий систематизированную информацию о генетически допустимом структурном разнообразии исследуемого класса (как известных, так и потенциально возможных структур) с указанием их генетических паспортов, информации об эволюционном уровне, видовом разнообразии, инновационном и таксономическом статусе и др., после чего он составляет системную основу для длительного и многоцелевого использования при решении широкого круга прикладных задач инновационной направленности. Концепция генетического проектирования сложных ЭМ-систем максимально приближена к природоподобным технологиям, что позволяет создавать новые образцы техники с высоким уровнем междисциплинарной интеграции и

адаптации к условиям функционирования.

Выводы. Обобщая результаты исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Научно обоснована принадлежность электромашиных агрегатов к генетически определенному классу ЭМ-систем, принципы структурообразования которых определяются генетическими операторами репликации и скрещивания, допускающими образование изомерных композиций.

2. По заданной функции синтеза определена макрогенетическая программа электромашиных агрегатов, (5 родительских хромосом группы 0.2 и 10 гомологичных хромосом гибридного типа), определяющая допустимое разнообразие агрегатов двойного вращения.

3. Для доминирующих видов вращающихся машин впервые разработана обобщенная генетическая модель, при помощи которой определены три генетические подпрограммы и получено 9 структурных формул, удовлетворяющих заданной функции синтеза.

4. На основе результатов генетического моделирования осуществлен направленный синтез генетически допустимых структур, создан ГБД и разработаны конкурентоспособные технические решения двухмашинных агрегатов двойного вращения.

5. Предложена концептуальная модель технологии генетического проектирования сложных ЭМ-систем, содержащая логическую последовательность взаимосвязанных этапов, поисковых процедур и методов по определению и расшифровке генетических программ, синтезу и системному анализу моделей структурообразования, реализации функций структурного предвидения и

алгоритмов направленного синтеза сложных структур по заданной функции цели.

Список литературы:

1. Ковальчук М. В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее / М. В. Ковальчук // Российские нанотехнологии. – 2011. – № 1–2. – С. 13–23.
2. Dobzansky Th. Mankind Evolving : the Evolution of the Human Species / Th. Dobzansky. – New Haven : Yale Univ. Press., 1962. – P. 381.
3. Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии и трансгуманистическая эволюция / Под ред. проф. Д. И. Дубровского. – М. : ООО «Издательство МБА», 2013. – 272 с.
4. Прог. Междунар. конгресса «Глобальное будущее-2045», Нью-Йорк, 2013. Режим доступа : <http://gf2045.ru/program>. – Дата обращения : 01 червня 2016.
5. Фукуяма Ф. Наше постчеловеческое будущее : последствия биотехнологической революции / Ф. Фукуяма. – М. : ООО «Издательство АСТ» : ОАО «ЛЮКС», 2004. – 349 с.
6. Шинкаренко В. Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем / В. Ф. Шинкаренко. – К. : Наукова думка, 2002. – 288с.
7. Шинкаренко В. Ф. Генетические принципы структурообразования гибридных электромеханических систем / В. Ф. Шинкаренко, Ю. В. Гайдаенко // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 3 (62). – Ч. 2. – С. 47–50.
8. Шинкаренко В. Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем / В. Ф. Шинкаренко // Праці ТДАУ. – 2013. – Вип. 13, том 4. – С. 11–20.
9. Shinkarenko V. Genetic Programs of Complex Evolutionary Systems (Part 1) / V. Shinkarenko, Y. Kuznetsov // 11th Anniversary International scientific Conference «Unitech'11», 18–19 November 2011. – Gabrovo, Bulgaria. Vol. I. P. p. 33–43.
10. Шинкаренко В. Ф. Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем / В. Ф. Шинкаренко // Праці ТДАУ. – Вип. 11, том 4, 2011. – С. 3–19.
11. Shynkarenko V. Interdisciplinary Approach to Modeling and Synthesis of difficult Technical Systems / V. Shynkarenko, Y. Kuznetsov // Journal of the Technical University of Gabrovo. – 2016. – Vol. 52. – P. 24–28.
12. Скоморохов О. О. Новітні успіхи в галузі побудови електричних машин / О. О. Скоморохов. – Х.-К. : Держвидав, 1930. – 48 с.
13. Шенфер К. И. Асинхронные машины / К. И. Шенфер. – М. – Л. : Госиздат, 1929. – 458 с.
14. Онищенко Г. Б. Электропривод турбомеханизмов / Г. Б. Онищенко, М. Г. Юньков. – М. : Энергия, 1972. – 240 с.
15. Шаньгин Е. С. Теория биروتативного электропривода / Е. С. Шаньгин. – Уфа, УТИС, 1998. – 274 с.
16. Шаньгин Е. С. Перспективы использования регулируемого электропривода в нефтегазовой промышленности / Е. С. Шаньгин // НГН, 2013. – № 6 – С. 44–49.
17. Шинкаренко В. Ф. Словник із структурної та генетичної електромеханіки / В. Ф. Шинкаренко, А. А. Шиманська. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 112 с.
18. Инге-Вечтомов С. Г. Поиски периодической системы в эволюции / С. Г. Инге-Вечтомов // Наука из первых рук. – 2004. – том 3. №2. – С. 20–25.
- breakthrough in the future]. *Rossiyskie nanotekhnologii*, 2011, no. 1, pp. 13–23.
2. Dobzansky Th. Mankind Evolving : the Evolution of the Human Species. New Haven, Yale Univ. Press, 1962. 381 p.
3. Dubrovskiy D. I. *Global'noe budushchee 2045. Konvergentnye tekhnologii i transgumanisticheskaya evolyutsiya* [Global Future 2045 Convergent Technologies (NBKS) and transhumanist evolution]. Moscow, ООО «Izdatel'stvo MBA», 2013. 272 p.
4. *Prog. Mezhdunar. kongressa "Global'noe budushchee – 2045"* [Prog. Intern. Congress "Global Future – 2045]. New-York, 2013. Available at : <http://gf2045.ru/program>. (accessed 01.06.2016)
5. Fukuyama F. *Nashe postchelovecheskoe budushchee : posledstviya biotekhnologicheskoy revolyutsii* [Our Posthuman Future : Consequences of the Biotechnology Revolution]. Moscow, ООО «Izdatel'stvo AST», ОАО «LYuKS», 2004. 349 p.
6. Shynkarenko V. F. *Osnovy teoriiy evolyutsiyi elektromekhanichnykh sistem* [Fundamentals of the theory of evolution electromechanical systems]. Kyiv, Naukova dumka, 2002. 288p.
7. Shinkarenko V. F., Gaydaenko Yu. V. *Geneticheskie printsipy strukturoobrazovaniya gibridnykh elektromekhanicheskikh sistem* [Genetic principles of structure of hybrid electromechanical systems] *Visnik KDU im. M. Ostrogradskogo*, 2010, № 3 (62), Ch. 2. P. 47–50.
8. Shinkarenko V. F. *Geneticheskie programmy strukturnoy evolyutsii antropogennykh sistem*. [The genetic program of structural evolution of human-made systems]. *Pratsi TDAU [Works of TNAU]. Melitopol'*, 2013, Vip. 13, tom 4. P. 11–20.
9. Shinkarenko V. Kuznetsov Y. *Genetic programs of complex evolutionary systems. (Part 1)*. Gabrovo, Bulgaria, 11-th Anniversary International Scientific Conference “Unitech'11”, 2011, Vol. I. P. 33–43.
10. Shinkarenko V. F. *Geneticheskoe predvidenie kak sistemnaya osnova v strategii upravleniya innovatsionnym razvitiem tekhnicheskikh sistem* [Genetic prediction of how a systematic basis in the management strategy of innovative development of technical systems]. *Pratsi TDAU [Works of TNAU]. Melitopol'*, 2011, Vip. 11, tom 4. P. 3–19.
11. Shynkarenko V. Kuznetsov Y. Interdisciplinary approach to modeling and synthesis of difficult technical systems. *Journal of the Technical University of Gabrovo*, 2016, Vol. 52. P. 24–28.
12. Skomorokhov O. O. *Novitni uspihyy v haluzi pobudovy elektrychnykh mashyn* [The latest advances in the sector of construction of electrical machines]. Kharkiv – Kyiv, Derzhvydav, 1930. 48 p.
13. Shenfer K. I. *Asinkhronnye mashyny* [Asynchronous machines]. Moscow – Leningrad, Gosizdat, 1929. 458 p.
14. Onishchenko G. B., Yun'kov M. G. *Elektroprivod turbomekhanizmov* [Electric drive high-speed mechanisms]. Moscow, Energiya, 1972. 240 p.
15. Shan'gin E. S. *Teoriya birotativnogo elektroprivoda* [Theory of double-rotating electric drive]. Ufa, UTIS, 1998. 274 p.
16. Shan'gin E. S. *Perspektivy ispol'zovaniya reguliruemogo elektroprivoda v neftegazovoy promyshlennosti* [Prospects for the use of controlled electric drive in the oil and gas industry]. NGN, 2013, № 6. P. 44–49.
17. Shynkarenko V. F., Shymanska A. A. *Slovyak iz strukturoy i henetychnoy elektromekhaniky* [Dictionary of structural and genetic Electromechanics]. Kyiv, NTUU «KPI», 2015. 112 p.
18. Inge-Vechtomov S. G. *Poisky periodicheskoy sistemy v evolyutsii* [Search for periodical systems in evolution]. *Nauka iz pervykh ruk* [Science from creators], 2004, Vol. 3, no. 2. P. 20–25.

References (transliterated):

1. Koval'chuk M. V. Konvergentsiya nauk i tekhnologii – proryv v budushchee [Convergence of Science and Technology – a

Postynula (received) 26.08.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Структурний синтез складних електромашинних агрегатів з використанням їх генетических програм / В. Ф. Шинкаренко, А. А. Шиманська, Ю. В. Гайдаєнко // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (1183). – С. 93–101. – Библиогр.: 18 назв. – ISSN 2409-9295.

Структурный синтез сложных электромашинных агрегатов с использованием их генетических программ / В. Ф. Шинкаренко, А. А. Шиманская, Ю. В. Гайдаенко // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (1183). – С. 93–101. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2409-9295.

Structural synthesis of complex electric machinery unit by using their genetic programs / V. F. Shynkarenko, A. A. Shymanska, Yu. V. Gaydayenko // Bulletin of NTU "KhPI". Thematic edition "Electric machines and electromechanical energy conversion." – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – № 11 (1183). – P. 93–101. – Bibliogr. 18. – ISSN 2409-9295.

«Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors»

Шинкаренко Василь Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», завідувач кафедри електромеханіки, (044)204-82-38; e-mail: svf46@voliacable.com

Шинкаренко Василий Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», заведующий кафедры электромеханики, (044)204-82-38; e-mail: svf46@voliacable.com

Shynkarenko Vasyl Fedorovych, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Chair of the Department of Electromechanics, (044)204-82-38; e-mail: svf46@voliacable.com

Шиманська Ганна Анатоліївна, кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри електромеханіки, (044)204-82-38; e-mail: shym.anna@gmail.com

Шиманская Анна Анатольевна, кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», доцент кафедры электромеханики, (044)204-82-38; e-mail: shym.anna@gmail.com

Shymanska Anna Anatoliyivna, Candidate of Technical Sciences, National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Associate Professor at the Department of Electromechanics, (044)204-82-38; e-mail: shym.anna@gmail.com

Гайдаєнко Юрій Васильович, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», асистент кафедри електромеханіки, (044)204-82-38; e-mail: yuriygaid@ukr.net

Гайдаєнко Юрий Васильевич, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ассистент кафедры электромеханики, (044)204-82-38; e-mail: yuriygaid@ukr.net

Gaydayenko Yuriy Vasylyovych, National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Lecturer at the Department of Electromechanics, (044)204-82-38; e-mail: yuriygaid@ukr.net