

*С.А. ТКАЧ*, аспирант, ВНУ им. В. Даля, Луганск;  
*И.А. ШВЕДЧИКОВА*, д-р техн. наук, проф., ВНУ им. В. Даля,  
Луганск

## СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ МНОГОИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассмотрена генетическая модель структурообразования электромеханических многоиндукторных систем для магнитной сепарации, а также дано теоретическое обоснование метода генерации вариантов пространственных компоновок цилиндрических многоиндукторных магнитосепарирующих систем и описание правил построения подобных систем для реальных технических устройств. Сделаны выводы о возможных теоретических и реальных количествах компоновок для многоиндукторных магнитосепарирующих систем. Достоверность описанного метода создания электромеханических систем была подтверждена практически.

**Ключевые слова:** изомер, индуктор, направленная генерация, симметрия, электромеханическая система.

У статті розглянуто генетичну модель структуроутворення електромеханічних багатоіндукторних систем для магнітної сепарації, а також наведено теоретичне обґрунтування метода генерації варіантів просторових компоновань циліндричних багатоіндукторних магнітосепаруючих систем та описані правила побудови подібних систем для реальних технічних пристроїв. Зроблено висновки щодо можливої кількості теоретичних та реальних компоновань для багатоіндукторних магнітосепаруючих систем. Достовірність запропонованого метода створення електромеханічних систем підтверджується на практиці.

**Ключові слова:** ізомер, індуктор, спрямована генерація, правило, симетрія, електромеханічна система.

A genetic model of the structure formation of electromechanical multi-inductor systems for magnetic separation is considered in this paper. The theoretical justification of the method of spatial design variants generation of cylindrical multi-inductor systems for magnetic separation is also given there. In addition, description of construction rules for such systems for real engineering devices is presented. The number of possible theoretical and real configurations for multi-inductor systems for magnetic separation has been concluded. The accuracy of described method of electromechanical systems design has been practically confirmed.

**Keywords:** isomer, inductor, directional generation, symmetry, electromechanical system.

**Введение.** Основой конструктивного исполнения целого ряда электро-механических устройств являются многоиндукторные системы, однотипные элементы которых образуют те или иные пространственные композиции. В частности, к многоиндукторным относятся магнитные сепараторы модульного типа, широко применяемые на практике [1, 2].

**Анализ основных исследований и литературы.** Свойство, связанное с наличием множества вариантов пространственного размещения (или компоновок) из одинакового количества идентичных элементов, называется пространственной изомерией (от др.-греч. ἴσος – равный и ἔρος – доля, часть), а множества их пространственных компоновок – пространственными изомерами. Термин "изомерия" нашел широкое применение в различных областях науки, в том числе в математике, химии, физике, биологии и т.д. [3, 4].

Научное обоснование генетической природы электромагнитной изомерии позволило выполнить постановку системных задач, непосредственно связанных с разработкой новых методов направленного синтеза пространственных структур-изомеров и их практического использования при создании многоэлементных электро-механических систем различного назначения [5]. Определение области существования и разработка генетической модели структурообразования видов магнитных сепараторов открыли возможности для практической реализации процедуры направленного синтеза пространственных изомерных композиций электро-механических структур магнитных сепараторов [6-8].

**Цель исследования.** Целью работы является применение метода синтеза пространственных изомерных композиций для получения полной информации о возможных пространственных компоновках многоиндукторных электро-механических систем для магнитной сепарации.

**Материалы и результаты исследования.** Одним из наиболее мощных источников структурного разнообразия в генетической концепции видообразования электро-механических систем является генетический оператор репликации  $f_R$  (коэффициент репликации  $k_R=2, 3, \dots$ ), отвечающий за изменение количественного состава основных компонентов генетической структуры. Метод синтеза пространственных изомерных композиций основан на последовательном применении генетического оператора репликации  $f_R$  и группы геометрических преобразований, основанных на использовании того или иного вида симметрии [4, 9].

Указанный метод был применен на этапе системного проектирования многоиндукторных магнитносепарирующих устройств, предназначенных для использования в конвейерных системах. Процедура синтеза была реализована для доминирующих в пределах функциона-

льного класса магнитных сепараторов структур рода цилиндрических базовых видов **ЦЛ 0.2у** и **ЦЛ 2.2у** [10].

Достижение поставленной в статье цели предполагает разработку генетической модели структурообразования видов многоиндукторных электромеханических систем для магнитной сепарации с учетом следующих допущений:

1. Исключаются из рассмотрения генетические операторы мутации (отвечает за изменение геометрических размеров и пространственной формы элементов структуры) и электромагнитной инверсии (моделирует процессы, связанные с изменением пространственной ориентации вращающихся электромагнитных полей).

2. Числовые значения коэффициента репликации по индуктору принимаются равными:  $k_{RI} = 2, 3, 4$ . Максимальное значение коэффициента репликации ( $k_{RI} = 4$ ) принимается, исходя из условий практической целесообразности.

Графическая интерпретация генетической модели структурообразования видов многоиндукторных электромеханических систем для магнитной сепарации представлена на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: ПИП – первичный источник электромагнитного поля, образующий пространственную поверхность с заданным видом и законом распределения электромагнитного поля;  $S_{0(1)}$ ,  $S_{0(2)}$  – первичная твердотельная (индуктор магнитного поля) и вторичная дискретная (извлекаемые ферромагнитные тела) структуры соответственно;  $S_0$  – электромеханическая пара или хромосомный набор 1-го поколения;  $S_{21}$  – синтезированная электромеханическая структура или хромосомный набор 2-го поколения, представленный реплицированными (по индуктору) порождающими структурами  $S_{212I}$  ( $k_{RI} = 2$ ),  $S_{213I}$  ( $k_{RI} = 3$ ),  $S_{214I}$  ( $k_{RI} = 4$ );  $f_{CH}$  – генетический оператор неоднородного скрещивания, моделирующий совмещение структур различной генетической природы;  $f_{RI}$  – оператор репликации, отвечающий за изменение количественного состава элементов первичной твердотельной структуры ( $k_{RI} = 2, 3, 4$ );  $P_{212b}$ ,  $P_{213b}$ ,  $P_{214I}$  – структурные популяции двух-, трех- и четырехиндукторных систем, соответственно.

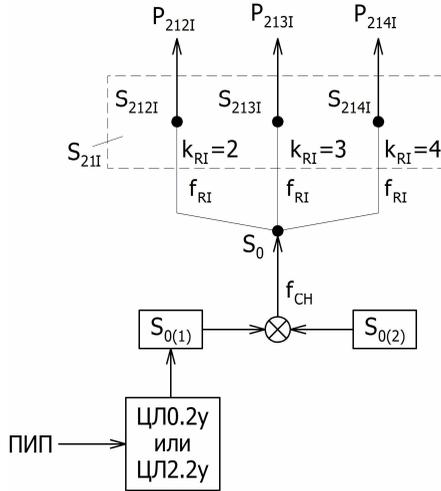


Рис. 1 – Генетическая модель структурообразования видов многоиндукторных цилиндрических систем для магнитной сепарации.

Исходной пространственной структурой при реализации процедуры синтеза является хромосома-репликатор 1-го поколения  $S_0$  ( $k_{RI}=1$ ), отвечающая за наследственные признаки одноиндукторных систем магнитных сепараторов,

$$(S_{0(1)} \times S_{0(2)}) \rightarrow S_0. \quad (1)$$

За наследственные признаки многоиндукторных ( $2 \leq k_{RI} \leq 4$ ) цилиндрических систем магнитных сепараторов отвечает реплицированная хромосома  $S_{21I}$

$$S_{21I} = k_{RI} S_0, \quad (2)$$

представленная набором порождающих реплицированных структур  $S_{212I}$ ,  $S_{213I}$ ,  $S_{214I}$ , отвечающих за наследственные признаки двух-, трех- и четырехиндукторных систем, соответственно.

Конечные множества пространственных изомерных композиций, синтезированные на основе реплицированных структур  $S_{212I}$ ,  $S_{213I}$ ,  $S_{214I}$ , могут быть представлены в виде

$$f(S_{212I}) \rightarrow (S_{212I1}, S_{212I2}, \dots, S_{212Ik}), \quad (3)$$

$$f(S_{213I}) \rightarrow (S_{213I1}, S_{213I2}, \dots, S_{213Ip}), \quad (4)$$

$$f(S_{214I}) \rightarrow (S_{214I1}, S_{214I2}, \dots, S_{214Iq}), \quad (5)$$

где  $f$  – оператор геометрического преобразования;  $k, p, q$  – максимальное количество практически реализуемых (в рамках поставленной задачи) пространственных изомеров при  $k_{RI}=2$ ,  $k_{RI}=3$  и  $k_{RI}=4$ , соответственно.

Величины  $k_T$ ,  $p_T$ ,  $q_T$  определяют теоретически возможное максимальное количество пространственных изомерных композиций, которое может быть найдено, исходя из следующих соображений.

Цилиндрический индуктор в общем виде можно представить отрезком прямой с координатами  $(x_1, y_1, z_1)$  и  $(x_2, y_2, z_2)$ . У данного отрезка может быть 7 вариантов расположения в трехмерной системе координат  $Oxyz$ :

1. Параллелен оси  $Ox$ .
2. Параллелен оси  $Oy$ .
3. Параллелен оси  $Oz$ .
4. Параллелен плоскости  $xOy$ .
5. Параллелен плоскости  $yOz$ .
6. Параллелен плоскости  $xOz$ .
7. Расположен произвольным образом относительно начала координат.

Теоретически возможное максимальное количество  $M_T$  пространственных композиций для системы, содержащей  $N$  индукторов, расположенных независимо друг относительно друга, в общем виде может быть определено следующим образом [9]

$$M_T = 7^N. \quad (6)$$

С учетом введенного допущения на максимальное значение коэффициента репликации ( $k_{RI}=4$ ) теоретически возможное количество пространственных композиций для двух-, трех- и четырехиндукторных систем составит соответственно:  $k_T = 7^2 = 49$ ;  $p_T = 7^3 = 343$ ;  $q_T = 7^4 = 2401$ .

Очевидно, что максимальное число, практически реализуемых пространственных изомерных композиций, всегда будет меньше теоретически возможного их числа ( $k < k_T$ ,  $p < p_T$ ,  $q < q_T$ ) из-за ограничений, связанных с компоновкой индукторов в пределах конвейерной системы. Если принять, что конвейерная лента расположена в плоскости  $xOy$ , а направление ее движения совпадает с положительным направлением оси  $Ox$ , то могут быть введены следующие ограничения на расположение индукторов относительно конвейерной ленты:

– индуктор не может быть расположен параллельно оси  $Ox$ , что обусловлено принадлежностью рассматриваемых систем к базовым видам **ЦЛ 0.2у** и **ЦЛ 2.2у** вращательного движения с чередованием полярности полюсов в направлении оси  $Oy$ ;

– индуктор не может быть расположен параллельно оси  $Oz$ , т.к. в этом случае над конвейерной лентой будут размещены неактивные торцевые части индукторов;

– индуктор не может быть расположен параллельно плоскости  $xOz$ , что следует из двух предыдущих ограничений.

Правила симметрии для построения пар индукторов в системе следующие:

1. Симметрия относительно оси  $Ox$ .
2. Симметрия относительно оси  $Oy$ .
3. Симметрия относительно оси  $Oz$ .
4. Симметрия относительно плоскости  $xOy$ .
5. Симметрия относительно плоскости  $yOz$ .
6. Симметрия относительно плоскости  $xOz$ .
7. Симметрия относительно начала координат.

В общем случае расчет реального количества  $M$  возможных вариантов пространственных композиций изомеров для многоиндукторных магнитосепарирующих систем в поставленных условиях может быть выполнен по формуле [9]

$$M = ijmn, \quad (7)$$

где  $i$  – вариант расположения первого индуктора в системе;  $j$  – правило симметрии для построения первой пары индукторов в системе;  $m$  – вариант расположения третьего индуктора в системе;  $n$  – правило симметрии для построения второй пары индукторов в системе.

Следовательно, возможное количество практически реализуемых пространственных композиций  $k$ ,  $p$  и  $q$  изомеров для рассматриваемых электромеханических систем составит:  $k = 4 \cdot 7 = 28$  – для двухиндукторной системы;  $p = 4 \cdot 7 \cdot 4 = 112$  – для трехиндукторной системы;  $q = 4 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 7 = 784$  – для четырехиндукторной системы.

Номера пространственных композиций  $t_2$ ,  $t_3$  и  $t_4$  из множеств  $S_{212l}$ ,  $S_{213l}$  и  $S_{214l}$ , соответственно, следует определять по формулам, учитывающим теоретически возможные варианты расположения индукторов в системе и правила симметрии для их построения,

$$t_2 = i + 7(j - 1), \quad (8)$$

$$t_3 = i + 7(j - 1) + 49(m - 1), \quad (9)$$

$$t_4 = i + 7(j - 1) + 49(m - 1) + 343(n - 1). \quad (10)$$

Фрагмент с результатами синтеза и графической визуализацией синтезированных пространственных изомерных композиций (генетические коды **2ЦЛ 0.2у** и **2ЦЛ 2.2у**) для двухиндукторных (порождающая структура  $S_{212l}$ ) магнитосепарирующих систем конвейерного типа базовых видов **ЦЛ 0.2у** и **ЦЛ 2.2у** представлен в таблице.

С помощью рассмотренного выше подхода была синтезирована структура  $S_{212/40}$  базового вида **2ЦЛ2.2у** (рис. 2), новизна которой по-

дтверждена патентом [11]. Еще две структуры ( $S_{21232}$ ,  $S_{21219}$ ) находится в стадии патентования.

Отличительной особенностью синтезированного устройства (рис. 2) является то, что оно не только обеспечивает непрерывность процесса удаления и последующей разгрузки ферромагнитных предметов, но и предусматривает возможность изменения с помощью подвесов 3 и 4 угла  $\alpha$  установки индукторов к основе транспортера при изменении угла естественного откоса сыпучего материала, находящегося на ленте транспортера, что повышает эффективность процесса сепарации.

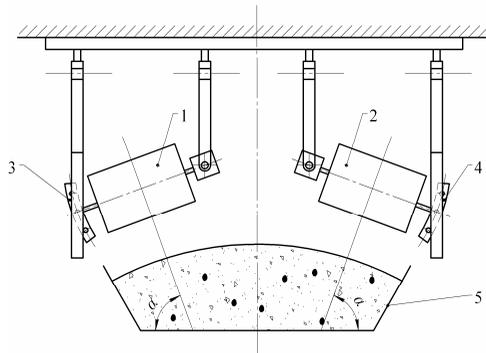
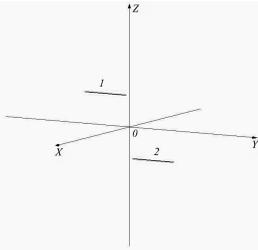
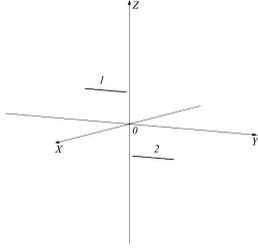
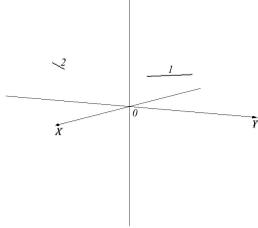
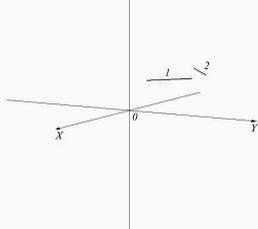


Рис. 2 – Устройство для магнитного разделения сыпучих материалов **2ЦЛ2.2** [11]: 1, 2 – индукторы электромагнитного поля; 3, 4 – подвесы, 5 – транспортер.

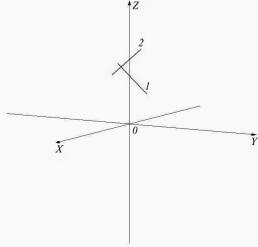
Таблица – Некоторые результаты синтеза пространственных изомеров в структуре генома базовых видов **ЦЛ 0.2у** и **ЦЛ 2.2у** цилиндрических магнитносепарирующих систем конвейерного типа\* (генетические коды пространственных изомеров – **2ЦЛ 0.2у** и **2ЦЛ 2.2у**)

Геометрическая модель пространственного изомера	Генетический код изомера	Вид симметрии	Описание электромеханической системы
1	2	3	4
	$S_{212140}$	Зеркальная симметрия относительно плоскости $xOz$	Двухиндукторная система с расположением индукторов 1 и 2 вращательного движения над конвейерной лентой и под углом к ее плоскости

Продолжение таблицы

1	2	3	4
	$S_{212/44}$	<p>Центральная симметрия относительно начала координат</p>	<p>Двухиндукторная система с расположением индукторов вращательного движения: 1 – над и 2 – под конвейерной лентой, соответственно, параллельно плоскости конвейерной ленты</p>
	$S_{212/44}$	<p>Центральная симметрия относительно начала координат</p>	<p>Двухиндукторная система с расположением индукторов вращательного движения: 1 – над и 2 – под конвейерной лентой, соответственно, параллельно плоскости конвейерной ленты</p>
	$S_{212/39}$	<p>Зеркальная симметрия относительно плоскости <math>xOz</math></p>	<p>Двухиндукторная система с расположением индукторов 1 и 2 вращательного движения под углом друг к другу, над или под конвейерной лентой и параллельно ее плоскости</p>
	$S_{212/32}$	<p>Зеркальная симметрия относительно плоскости <math>yOz</math></p>	<p>Двухиндукторная система с расположением индукторов 1 и 2 вращательного движения над или под конвейерной лентой, параллельно ее плоскости и под углом друг к другу</p>

Окончание таблицы

1	2	3	4
	$S_{212/19}$	<p>Осевая симметрия относительно оси <math>Oz</math></p>	<p>Двухиндукторная система с расположением индукторов 1 и 2 вращательного движения над конвейерной лентой, друг за другом по ходу ее движения и под углом к плоскости конвейерной ленты</p>
<p>* – конвейерная лента расположена в плоскости <math>xOy</math>, направление ее движения совпадает с положительным направлением оси <math>Ox</math></p>			

**Выводы:** 1. Разработана генетическая модель структурообразования видов многоиндукторных цилиндрических систем для магнитной сепарации (на примере базовых видов **ЦЛ 0.2у** и **ЦЛ 2.2у**) с использованием генетических операторов скрещивания и репликации.

2. Определено теоретически возможное максимальное количество пространственных изомерных композиций многоиндукторных систем (при  $k_{RI} \leq 4$ ); предложены правила построения описанных композиций.

3. Установлено максимальное количество практически реализуемых пространственных изомерных композиций с учетом ограничений, связанных с компоновкой индукторов в пределах конвейерной системы, которое составило: 28 композиций – для двухиндукторных систем; 112 композиций – для трехиндукторных систем; 784 композиции – для четырехиндукторных систем.

4. Возможность направленной генерации новых структур многоиндукторных систем, новизна которых подтверждена патентами, свидетельствует об адекватности проведенной процедуры синтеза.

5. Дальнейшие системные исследования многоиндукторных устройств для магнитной сепарации связаны с разработкой системы автоматизированного синтеза пространственных изомерных композиций.

**Список литературы:** 1. Загирняк М.В. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования / М.В. Загирняк, Ю.А. Бранспиз, И.А. Шведчикова. – К.: Техника, 2010. – 224 с. 2. Загирняк М.В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов / М.В. Загирняк. – К.: ИСМО, 1996. – 448 с. 3. Шинкаренко В.Ф. Структурная изомерия и ее моделирование в задачах генетического синтеза электромеханических структур / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Августиневич, В.В. Лысак, М.А. Вахновецкая // Электротехника і електроме-

ніка. – 2009, – №1. – С. 33-36. **4.** *Урманцев Ю.А.* Симметрия природы и природа симметрии: Философские и естественно-научные аспекты / *Ю.А. Урманцев.* – М.: Мысль, 1974. – 229 с. **5.** *Шинкаренко В.Ф.* Генетичний синтез просторових ізомерів в структурі геному само гальмівних електромеханічних систем поступального руху / *В.Ф. Шинкаренко, Ю.В. Гайдаенко, К.О. Бенза* // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2009. – Випуск 3 (56). – Частина 1. – С.81-85. **6.** *Шинкаренко В.Ф.* Решение задач поискового проектирования магнитных сепараторов с использованием структурно-системного подхода / *В.Ф. Шинкаренко, М.В. Загурняк, И.А. Шведчикова* // Изв. вузов. Электромеханика. – 2010. – №1. – С. 69-76. **7.** *Shinkarenko V.F., Zagirnyak M.V., Shvedchikova I.A.* Structural-Systematic Approach in Magnetic Separator Design // *Studies in Computational Intelligence / Computational Methods for the Innovative Design of Electrical Devices.* – 2011. – Vol. 327. – P. 201-217. **8.** *Шведчикова И.А.* Определение инновационного потенциала функционального класса магнитных сепараторов / *И.А. Шведчикова* // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2009. – Випуск 3 (56). – Частина 2. – С.86-89. **9.** *Ильин В.А.* Аналитическая геометрия. / *В.А. Ильин, Э.Г. Позняк.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 240 с. **10.** *Шинкаренко В.Ф.* Макрогенетический анализ и ранговая структура систематики магнитных сепараторов / *В.Ф. Шинкаренко, М.В. Загурняк, И.А. Шведчикова* // Електротехніка і електромеханіка. – 2009. – №5. – С.33-39. **11.** Пат. на корисну модель 69845 Україна, МПК В03С 1/04. Пристрій для магнітного розділення сипучих матеріалів / *Шведчикова І.О., Ткач С.А., Орлов А.П.*; заявник і власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201114149; заявл. 30.11.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

*Надійшла до редколегії 30.10.2012*