

УДК 621.318

## СТРУКТУРНО-СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МАГНІТНИХ СЕПАРАТОРОВ С ТОРЦЕВОЮ АКТИВНОЮ ПОВЕРХНІСТЮ

**И. А. Шведчикова, И. В. Никитченко**

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля  
просп. Центральный, 59-а, г. Северодонецк, 93400, Украина. E-mail: ishved@i.ua

Выполнен структурно-системный анализ функционального класса дисковых магнитных сепараторов с торцевой активной поверхностью. Определена генетическая программа класса, отражающая его видовой состав. С использованием результатов патентно-информационного поиска выполнены эволюционные эксперименты, которые показали, что эволюция класса дисковых магнитных сепараторов осуществляется в соответствии с генетической программой. Определен видовой состав гибридных видов устройств рассматриваемого класса. Показано, что гибридные структуры могут быть получены путем совмещения источников поля, принадлежащих к различным группам электромагнитной симметрии и отличающихся по признаку ориентируемости. Выявлены структурные представители реально-информационных Видов дисковых магнитных сепараторов. Определен инновационный потенциал класса. С использованием полученных результатов решена задача по разработке новой конструкции магнитного сепаратора с улучшенными условиями разгрузки. Определена целевая функция поиска. Разработана генетическая модель структуры дискового сепаратора и определен уровень ее генетической сложности. По результатам исследования получено конкурентоспособное техническое решение на магнитный сепаратор с самоочищающейся рабочей поверхностью.

**Ключевые слова:** магнитный сепаратор, магнитное поле, система, структура, синтез.

## СТРУКТУРНО-СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МАГНІТНИХ СЕПАРАТОРІВ ІЗ ТОРЦЕВОЮ АКТИВНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

**І. О. Шведчикова, І. В. Нікітченко**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
просп. Центральный, 59-а, м. Северодонецк, 93400, Україна. E-mail: ishved@i.ua

Виконано структурно-системний аналіз функціонального класу дискових магнітних сепараторів із торцевою активною поверхнею. Визначено генетичну програму класу, яка відображає його видовий склад. З використанням результатів патентно-інформаційного пошуку виконано еволюційні експерименти, які показали, що еволюція класу дискових магнітних сепараторів здійснюється відповідно до генетичної програми. Визначено видовий склад гібридних видів пристроїв класу, що розглядається. Показано, що гібридні структури можуть бути отримані шляхом поєднання джерел поля, що належать до різних груп електромагнітної симетрії й відрізняються за ознакою орієнтовності. Виявлено структурні представники реально-інформаційних Видів дискових магнітних сепараторів. Визначено інноваційний потенціал класу. З використанням отриманих результатів вирішена задача по розробці нової конструкції магнітного сепаратора з покращеними умовами розвантаження. Визначено цільову функцію пошуку. Розроблено генетичну модель структури дискового сепаратора й визначено рівень її генетичної складності. За результатами дослідження отримано конкурентоспроможне технічне рішення на магнітний сепаратор із самоочисною робочою поверхнею.

**Ключові слова:** магнітний сепаратор, магнітне поле, система, структура, синтез.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Конструктивной разновидностью устройств для магнитной очистки материалов являются магнитные сепараторы с торцевой активной поверхностью. Такие устройства называют также дисковыми магнитными сепараторами, т.к. их рабочим органом является вращающийся немагнитный диск с расположенной на нем магнитной системой [1]. Дисковые магнитные сепараторы отличаются широким конструктивным разнообразием и условиями применения; изготавливаются как на постоянных магнитах, так и с электромагнитным возбуждением [2–7]. Так, магнитные сепараторы с торцевой активной поверхностью используются в качестве подъемных электромагнитов [3]; для очистки от ферромагнитных включений смесей тонкоизмельченных сыпучих материалов, которые располагаются на перемещаемой поверхности (например, транспортной ленте или виброп-

латформе), тонким слоем [4, 5]; для извлечения ферромагнитного скрапа в литейном производстве [6] и очистки от ферромагнитных примесей жидкостей [7].

При установке над или под конвейерной лентой с сепарируемым сыпучим материалом дисковые конструкции магнитных сепараторов имеют ряд преимуществ по сравнению с другими устройствами. Так, по сравнению с магнитносепарирующими устройствами, имеющими активную поверхность цилиндрической формы (шквивные, барабанные сепараторы), торцевые конструкции выигрывают за счет размеров рабочей зоны извлечения, по сравнению с подвесными магнитными сепараторами с плоской формой полюсов – обеспечивают возможность автоматической разгрузки извлеченных ферромагнитных примесей без применения дополнительных устройств. Малый осевой размер дисковых магнит-

ных сепараторов обеспечивает также их компактность и удобство эксплуатации, конструктивную совместимость с приводным двигателем. Для облегчения процесса разгрузки в дисковых магнитных сепараторах часто применяют такие конструктивные элементы, как немагнитные экраны и скребки [4, 5]. В сепараторах с электромагнитным возбуждением поля для этих целей создаются локальные зоны пониженной интенсивности поля [6].

Несмотря на наличие научно-прикладных исследований [2–7], разнообразие конструкций и широкое практическое использование магнитных сепараторов с торцевой активной поверхностью, вопрос обобщения системных принципов структурообразования сепараторов и использования этих принципов для синтеза новых конкурентоспособных устройств остается открытым, что и обуславливает актуальность данной работы.

Целью работы является определение полного видового состава или генетической программы функционального класса дисковых магнитных сепараторов и синтез на ее основе конкурентоспособного образца магнитного сепаратора.

#### МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Решение задачи по определению полного видового состава функционального класса дисковых магнитных сепараторов предполагает определение области  $Q_{DMS}$  существования порождающих структур класса, удовлетворяющих целевой функции  $F_p$  вида [8]

$$F_p = (p_1, p_2, p_3), \quad (1)$$

где  $p_1$  – наличие первичной твердотельной структуры (индуктора магнитного поля) в форме диска;  $p_2$  – наличие вторичной дискретной структуры (ферромагнитных рабочих тел);  $p_3$  – возможность размещения в пространстве между первичной и вторичной частями подвижного немагнитного разгрузочного экрана.

С учетом (1) порождающая структура произвольного Вида магнитных сепараторов исследуемого класса представляется электромеханической парой (парной хромосомой), образованной в результате скрещивания твердотельной первичной и вторичной дискретной структур, допускающей возможность пространственного совмещения с немагнитными разгрузочными экранами. Поэтому область  $Q_{DMS}$  определяется также как конечное множество допустимых парных хромосом, выполняющих функцию генома Видов базового уровня.

Для корректного решения задачи поиска на область  $Q_{DMS}$  накладываются следующие ограничения:

1) поиск осуществляется в пределах первого  $P^1$  и второго  $P^2$  больших периодов генетической классификации (ГК) ( $P^1 \subset \langle S_0 \rangle$ ,  $P^2 \subset \langle S_0 \rangle$ , где  $\langle S_0 \rangle$  – упорядоченное множество первичных источников электромагнитного поля (ПИП) в периодической структуре ГК);

2) разнообразие порождающих структур рассматриваемого класса ограничивается рассмотрением разнообразия трех подклассов: подкласса порождающих структур  $Q_{DMSr}$  вращательного движения, построенных на первичных источниках поля (ПИП) вращающегося поля; подкласса порождающих структур  $Q_{DMSm}$  поступательного движения, построенных на ПИП бегущего поля; подкласса  $Q_H$  генетически допустимых порождающих гибридных структур внутривидового уровня, образованных по признаку ортогональной электромагнитной ориентированности ( $x$ – $y$  ориентированных);

3) на данном этапе решения задачи из рассмотрения исключаются: источники-изотопы, определяющие разнообразие Видов-близнецов; сложные варианты совмещенных систем с многоэлементными структурами.

С учетом отмеченного выше, области существования порождающих структур магнитных сепараторов дискового типа вращательного  $Q_{DMSr}$  и поступательного  $Q_{DMSm}$  движений могут быть записаны в виде [8]

$$Q_{DMSr} = (ТП\ 0.0y, ТП\ 0.2y, ТП\ 2.2y, ТП^2\ 2.2y); \quad (2)$$

$$Q_{DMSm} = (ТП\ 0.0x, ТП^2\ 0.0x, ТП\ 2.2x, ТП^2\ 2.2x), \quad (3)$$

где  $ТП\ 0.0y \dots ТП\ 2.2x$  – генетические коды соответствующих ПИП базового уровня первого большого периода  $P^1$  ГК;  $ТП^2\ 2.2y$ ,  $ТП^2\ 2.2x$  – генетические коды соответствующих ПИП базового уровня второго большого периода  $P^2$  ГК, активные поверхности которых относятся к поверхностям спирального типа.

Области существования  $Q_{DMSr}$  и  $Q_{DMSm}$  порождающих хромосом (структур) магнитных сепараторов дискового типа могут быть представлены также в координатах ГК (выделены цветом в табл. 1).

Области существования  $Q_{DMSr}$  и  $Q_{DMSm}$  упорядочены на восьми ПИП, в пределах трех групп симметрии (0.0, 0.2 и 2.2), одного геометрического класса (тороидальные плоские ТП) и двух больших периодов ГК. Электромеханические объекты на тороидальных цилиндрических (ТЦ) поверхностях, а также продольно- и/или поперечно-симметричные структуры (группы симметрии 0.0 и 0.2), относящиеся ко второму большому периоду  $P^2$  ГК, исключены из рассмотрения в силу достаточно сложного характера их поверхности, затрудняющей совмещение с немагнитными разгрузочными экранами (целевая функция  $p_3$ ).

Область существования  $Q_H$  генетически допустимых гибридных структур в пределах рода тороидальные плоские (ТП) будет определяться комбинаторным пространством допустимых скрещиваний на элементном базисе из восьми электромагнитных хромосом базового уровня (2, 3), отличающихся по признаку электромагнитной ориентированности.

Таблица 1 – Области существования порождающих хромосом (структур) дисковых магнитных сепараторов

Группа ГК	Период ГК					
	1					
	ЦЛ	КН	ПЛ	ТП	СФ	ТЦ
0.0	ЦЛ 0.0 x	КН 0.0 x	ПЛ 0.0 x	ТП 0.0 x	СФ 0.0 x	ТЦ 0.0 x
	ЦЛ 0.0 y	КН 0.0 y	ПЛ 0.0 y	ТП 0.0 y	СФ 0.0 y	ТЦ 0.0 y
0.2	ЦЛ 0.2 y	КН 0.2 y	ПЛ 0.2 y	ТП 0.2 y	СФ 0.2 y	ТЦ 0.2 y
2.0	ЦЛ 2.0 x	КН 2.0 x	ПЛ 2.0 x	ТП 2.0 x	СФ 2.0 x	ТЦ 2.0 x
2.2	ЦЛ 2.2 x	КН 2.2 x	ПЛ 2.2 x	ТП 2.2 x		ТЦ 2.2 x
	ЦЛ 2.2 y	КН 2.2 y	ПЛ 2.2 y	ТП 2.2 y	СФ 2.2 y	ТЦ 2.2 y
	2					
	ЦЛ <sup>2</sup>	КН <sup>2</sup>	ПЛ <sup>2</sup>	ТП <sup>2</sup>	СФ <sup>2</sup>	
0.0	ЦЛ <sup>2</sup> 0.0 x	КН <sup>2</sup> 0.0 x	ПЛ <sup>2</sup> 0.0 x	ТП <sup>2</sup> 0.0 x	СФ <sup>2</sup> 0.0 x	
	ЦЛ <sup>2</sup> 0.0 y	КН <sup>2</sup> 0.0 y	ПЛ <sup>2</sup> 0.0 y	ТП <sup>2</sup> 0.0 y	СФ <sup>2</sup> 0.0 y	
0.2	ЦЛ <sup>2</sup> 0.2 y	КН <sup>2</sup> 0.2 y	ПЛ <sup>2</sup> 0.2 y	ТП <sup>2</sup> 0.2 y	СФ <sup>2</sup> 0.2 y	
2.0	ЦЛ <sup>2</sup> 2.0 x	КН <sup>2</sup> 2.0 x	ПЛ <sup>2</sup> 2.0 x	ТП <sup>2</sup> 2.0 x	СФ <sup>2</sup> 2.0 x	
2.2	ЦЛ <sup>2</sup> 2.2 x	КН <sup>2</sup> 2.2 x	ПЛ <sup>2</sup> 2.2 x	ТП <sup>2</sup> 2.2 x	СФ <sup>2</sup> 2.2 x	
	ЦЛ <sup>2</sup> 2.2 y	КН <sup>2</sup> 2.2 y	ПЛ <sup>2</sup> 2.2 y	ТП <sup>2</sup> 2.2 y	СФ <sup>2</sup> 2.2 y	

Электромагнитные порождающие хромосомы (x- и y- ориентированности) удовлетворяют принципу парности. При скрещивании таких хромосом образуются структуры-потомки более высокого уровня сложности – двойниковые гибридные электромеханические структуры внутривидового уровня. В зависимости от количества скрещиваемых признаков различают: моногибриды (один признак), дигибриды (пара признаков) и полигибриды (больше двух скрещиваемых признаков). Особенностью гибридных структур является их эмерджентность, т.е. появление новых особенностей, которые отсутствуют в ее составляющих [9].

Тогда пространство возможных скрещиваний (с учетом местоположения родительских хромосом в пределах периода, генетической природы и количества скрещиваемых признаков) по признаку ортогональной электромагнитной ориентированности (x–y ориентированных) будет определяться следующими вариантами: (ТП 0.0(y×x), ТП 2.2(y×x), ТП<sup>2</sup> 2.2(y×x)) – моногибридные порождающие структуры; (ТП(0.2y×2.0x)) – дигибридная порождающая структура. Двойниковые моногибриды характеризуются идентичностью пространственной геометрии скрещиваемых источников поля и принадлежностью к одной группе электромагнитной симметрии. Порождающие хромосомы двойниковых дигибридов совмещают источники поля, принадлежащие к различным группам электромагнитной симметрии и отличающиеся по признаку ориентируемости.

Таким образом, область существования Q<sub>H</sub> на внутривидовом уровне межвидовых гибридных порождающих структур магнитных сепараторов дискового типа, образованных на основе геометрически эквивалентных источников поля, определяется выражением

$$Q_H = \left( \begin{matrix} ТП0.0(y \times x), ТП(0.2y \times 2.0x); \\ ТП2.2(y \times x), ТП^2 2.2(y \times x). \end{matrix} \right) \quad (4)$$

Хромосомные наборы, определяемые множествами (2–4), образуют генетическую программу функционального класса дисковых магнитных сепараторов. Генетическая программа представлена набором из восьми парных электромагнитных хромосом (2, 3) и комбинаторным пространством из четырех (4) гибридных электромеханических пар, структуры которых представлены допустимыми комбинациями, отличающимися по признаку ориентируемости. Генетическая программа содержит полную и упорядоченную информацию о генетически допустимом структурном и видовом разнообразии объектов исследуемого класса как известных, так и потенциально возможных на данный период технической эволюции [10].

В соответствии с принципом сохранения генетической информации каждой порождающей структуре в множествах (2, 3) ставится в соответствие определенная структура базового Вида (реально-информационная или неявная), что позволяет установить видовой состав {HS<sub>DMS</sub>} ({HS<sub>DMSr</sub>} + {HS<sub>DMSm</sub>}) исследуемого класса магнитных сепараторов дискового типа, соответственно, вращательного {HS<sub>DMSr</sub>} и поступательного {HS<sub>DMSm</sub>} движений

$$\{HS_{DMSr}\} = (ТП0.0y, ТП0.2y, ТП2.2y, ТП^2 2.2y); \quad (5)$$

$$\{HS_{DMSm}\} = (ТП0.0x, ТП2.0x, ТП2.2x, ТП^2 2.2x). \quad (6)$$

В соответствии с принципом сохранения генетической информации хромосомным наборам гибридного типа (4) на эволюционном уровне соответствуют электромеханические объекты, принадлежащие к видам-двойникам [9]. Тогда полное видовое разнообразие магнитных сепараторов дискового

типа представлено восьмью Видами базового уровня и четырьмя видами гибридного типа или видами-двойниками.

Для подтверждения достоверности полученных результатов проведен эволюционный эксперимент на историческом уровне (геномно-исторический эксперимент), в ходе которого идентифицирована генетическая информация документально подтвержденных (по результатам патентно-информационных исследований) известных электромеханических объектов – структурных представителей реально-информационных Видов исследуемого класса магнитосепарирующих устройств. Практическая реализация геномно-исторического эксперимента непосредственно связана с проведением макроэволюционного анализа, позволяющего получить информацию об уровне и темпах эволюции существующего видового разнообразия устройств, о структуре и количественном составе реально-информационных и неясных (неизвестных на данный момент эволюции) Видов, определить инновационный потенциал класса [11–13].

Результаты геномно-исторического эксперимента для функционального класса дисковых магнитных сепараторов на объектно-видовом уровне представлены в табл. 2, структурные представители сепараторов указанного класса показаны на рис. 1.

Таблица 2 – Результаты геномно-исторического эксперимента на объектно-видовом уровне

Генетический код Вида	Устройство	Источник информации
ТП2.0х	Промышленный подъемный электромагнит	Около 1900 гг.
ТП0.2у	Электромагнитный сепаратор типа Рапид	1920
ТП0.0х	Магнитный диск	1970
ТП2.2у	Устройство для магнитного разделения сыпучих материалов	2007
ТП2.2х	Дисковый магнитный сепаратор	2010
ТП0.0у	Устройство для извлечения металлических включений	2010

Базовые Виды геометрического класса торoidalные плоские (ТП) относятся к категории редких, т.к. их удельный вес в целом для класса магнитных сепараторов не превышает 5% [13]. Общее время технической эволюции класса дисковых магнитных сепараторов составляет  $T_E = 115$  лет. Первые образцы магнитных сепараторов с торцевой активной поверхностью появились в начале прошлого века. Это были подъемные электромагниты, которые идентифицируются как структурные представители базового Вида ТП2.0х [14]. Дисковые магнит-

ные сепараторы типа Рапид (1920 г.) положили начало базовому Виду магнитных сепараторов вращательного движения (ТП0.2у) [15]. Японские фирма «Миуракагакусоти» и компания ASEA в 1970 г. разработали дисковые магнитные сепараторы (магнадиски) с двухсторонней поверхностью притяжения (базовый Вид ТП0.0х) [7]. Три базовых Вида (ТП0.0у, ТП2.2у, ТП2.2х) получили статус реально-информационных за относительно короткий промежуток времени (2007–2012 гг.), в том числе благодаря использованию методологических инструментов структурно-системного подхода [16–18]. Базовые виды ТП<sup>2</sup> 2.2у и ТП<sup>2</sup> 2.2х, относящиеся ко второму большому периоду P<sup>2</sup> ГК, а также виды-двойники являются неясными и образуют структурный потенциал класса.

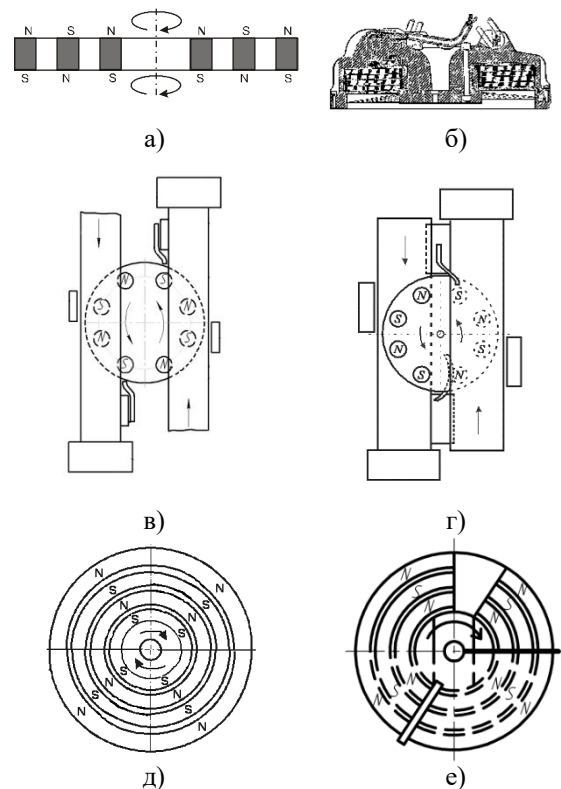


Рисунок 1 – Структурные представители реально-информационных Видов: а) ТП0.0х [7]; б) ТП2.0х [14]; в) ТП0.2у [16]; г) ТП0.0у [17]; д) ТП2.0х [4]; е) ТП2.2х [18]

Полученные результаты были использованы для решения задачи поиска новой конструкции  $S_{TP}$  дискового магнитного сепаратора, обеспечивающего существенное улучшение условий разгрузки извлеченных ферромагнитных примесей по сравнению с известными. В соответствии с этой задачей была определена целевая функция поиска  $F_{TP}$ , которая определяется следующей совокупностью требований:

1) наличие торцевой активной поверхности (TP);

2) источник магнитного поля – многополюсная система на постоянных магнитах ( $p \geq 2$ );

3) двухкомпонентное магнитное поле в рабочей зоне: бегущее – в радиальном направлении и вращающееся – в направлении вращения диска ( $\omega_1 \times \omega_2$ );

4) обеспечение патентоспособности технического решения, полученного по результатам синтеза ( $K_S > K_A$ ).

С учетом отмеченных требований интегральная функция поиска в многомерном поисковом пространстве  $R^n$  будет иметь вид вектора

$$F_{TP} = [TP; (p \geq 2); (\omega_1 \times \omega_2); (K_S > K_A)] \in R^n. \quad (7)$$

Анализ целевой функции  $F_{TP}$  показывает, что пространство генетически допустимых структур в соответствии с требованием 1 можно ограничить рассмотрением хромосомных наборов геометрического класса «тороидальные плоские». Требование 1 (TP) также связано с особенностями установки сепаратора над или под транспортной лентой и с обеспечением возможности его вращения. Требование 2 ( $p \geq 2$ ) предполагает рассмотрение реплицированных структур с коэффициентом репликации  $k \geq 2$ . Выполнение условия 3 ( $\omega_1 \times \omega_2$ ) позволит существенно упростить конструкцию сепаратора за счет создания благоприятных условий для автоматической разгрузки извлеченных предметов путем соответствующего размещения магнитов (по спирали). Требование 4 ( $K_S > K_A$ ) является одним из критериев, который подтверждает достоверность и эффективность результатов генетического синтеза.

Заданной  $F_{TP}$  ставится в соответствие генетическая модель, показанная на рис. 2.

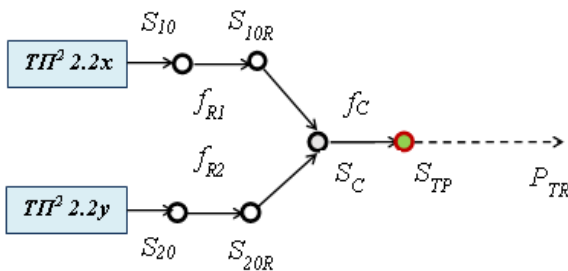


Рисунок 2 – Генетическая модель структуры дискового магнитного сепаратора:

$f_{R1}, f_{R2}, f_C$  – операторы генетического синтеза;

$S_{10}, S_{20}, S_{10R}, S_{20R}, S_C$  – синтезированные структуры хромосом;

$S_{TR}$  – техническое решение;

$P_{TR}$  – популяция технических решений

Таким образом, целевой функции поиска удовлетворяет совмещенная хромосома  $S_C$ , структурным эквивалентом которой является электромагнитная структура дискового магнитного сепаратора со спиральной магнитной системой, создающей пульсирующее двухкомпонентное магнитное поле: бегущее – в радиальном направлении и вращающееся – в направлении вращения диска. Уровень генетической

сложности хромосомы  $S_C$  и соответствующей ей популяции технических решений  $P_{TR}$  определяется структурной формулой

$$S_C = [(TP^2 2.2x):R(k \geq 2)] \times [(TP^2 2.2y):R(k \geq 2)] \subset S_{TR}. \quad (8)$$

Структурной формуле (8) ставится в соответствие геометрическая модель структуры дискового магнитного сепаратора (рис. 3). Синтезированная структура положена в основу разработки конкурентоспособного технического решения сепаратора с самоочищающейся рабочей поверхностью [19].



Рисунок 3 – Геометрическая модель дискового магнитного сепаратора

**ВЫВОДЫ.** Определена генетическая программа функционального класса дисковых магнитных сепараторов, анализ которой показал, что видовой состав класса включает восемь Видов базового уровня и четыре вида гибридного типа.

С использованием результатов патентно-информационного поиска проведены эволюционные эксперименты, которые подтвердили достоверность генетической программы и позволили определить

– время эволюции класса ( $T_E = 115$  лет);

– инновационный потенциал класса, который на уровне базовых Видов составляет 75% генетически допустимого.

На основе анализа генетической программы синтезирована структура дискового магнитного сепаратора, которая положена в основу разработки патентоспособных технических решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 25006-81. Оборудование обогатительное. Термины и определения. – Режим доступа: [http://www.complexdoc.ru/pdf/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%2025006-81/gost\\_25006-81.pdf](http://www.complexdoc.ru/pdf/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%2025006-81/gost_25006-81.pdf)
- Шведчикова И.А., Земзюлин М.А. Обоснование траектории направленного выбора новой конструкции дискового магнитного сепаратора // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – Вип. 14 (185), част. 2. – С.58–63.
- Шведчикова И.А. Расчет магнитного поля подъемного электромагнита методом конформных преобразований // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – Вип. 1. – С. 38–40.

4. А.с. 94773 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 03 С 01/16. Диск-овий магнітний сепаратор / А.Я. Сочнев (СССР). – №434699/9113; заявл. 18.09.50.

5. Пат. 21724 Україна, МПК В 03 С 1/24. Диск-овий магнітний сепаратор «ДМС» / В.І. Баралюк, С.В. Москаленко, О.В. Шатірішвілі, В.О. Шатірішвілі; заявник та власник В.І. Баралюк, С.В. Москаленко, О.В. Шатірішвілі, В.О. Шатірішвілі; – № u 2007 00182; заявл. 09.01.07; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3.

6. А.с. 1639756 СССР, МКИ<sup>3</sup> В03 С 1/18. Железоотделитель / В.О. Карташян, А.П. Нестеренко, В.Н. Капустянов, И.А. Шведчикова. – Вып. 4647121/03; заявл. 22.12.88; опубл. 07.04.91, Бюл. № 13.

7. Нагасима Т. Современные магнитные сепараторные установки // Кагаку когаку. – 1981. – Т.45. – Вып. 4. – С. 226–234.

8. Шведчикова И.А., Земзюлин М.А. Информационное обеспечение процедуры генетического синтеза магнитных сепараторов // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2011. – Вып. 48. – С. 56–64.

9. Шинкаренко В.Ф., Гайдаенко Ю.В. Структурно-системный анализ гибридных электромеханических объектов внутриродового уровня // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – Вып. 5. – С. 30–33.

10. Шинкаренко В.Ф., Шиманська А.А. Словник із структурної та генетичної електромеханіки. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 112 с.

11. Shinkarenko V., Shvedchikova I., Kotlyarova V. Evolutionary experiments in genetic electromechanics // International scientific Conference «Unitech'13», 22–23 November 2013. – Gabrovo, Bulgaria. – Iss. 3. – PP.289–294.

12. Шведчикова И.А. Эволюционно-экспериментальные исследования функционального класса магнитных сепараторов // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2013. – Вып. 13. – Т. 4. – С.96–103.

13. Шведчикова И.А. Определение инновационного потенциала функционального класса магнитных сепараторов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вып. 3, част. 2. – С.86–89.

14. Фауль Ф. Справочник по электротехнике. Т. II. – М.: Акционерное издательское общество, 1927. – 640 с.

15. Деркач В.Г., Дацюк И.С. Электромагнитные процессы обогащения. – М.: Металлургиздат, 1947. – 265 с.

16. Пат. 43555 Україна, МПК В 03 С 1/00. Пристрій для вилучення металевих включень / В.Ф. Шинкаренко, І.О. Шведчикова, А.А. Августинівич. – № u2009 01831; заявл. 02.03.09; опубл. 25.08.09, Бюл. № 16.

17. Пат. 54723 Україна, МПК В 03 С 1/24. Пристрій для вилучення металевих включень / І.О. Шведчикова, С.М. Голубева, М.О. Земзюлін. – № u2010 04526; заявл. 19.04.10; опубл.25.11.10, Бюл. №22.

18. Пат. 48517 Україна, МПК В 03С 1/24. Диск-овий магнітний сепаратор / І.О. Шведчикова, С.М. Голубева, Н.О. Сухаревська. – № u200908746; заявл. 20.08.09; опубл.25.03.10, Бюл. №6.

19. Пат. 61551 Україна, МПК В 03 С 1/24. Диск-овий магнітний сепаратор / І.О. Шведчикова, М.О. Земзюлін, Т.В. Хохоло; заявник і власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № u2010 14974; заявл. 13.12.10; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14.

## STRUCTURAL SYSTEM ANALYSIS OF MAGNETIC SEPARATOR WITH ACTIVE END SURFACE

I. Shvedchikova, I. Nikitchenko

Eastukrainian National University of Volodymyr Dahl  
prosp. Tsentralny, 59-a, Severodonetsk, 93400, Ukraine. E-mail: ishved@i.ua

**Purpose.** The purpose of the work is definition of full species composition or functional class genetic program of disk magnetic separators and synthesis competitive sample of magnetic separator on its basis. **Methodology.** Main provisions of evolution theory of electromechanical systems, methods of genetic and systematic analysis of electromagnetic structures, genetic modeling and evolutionary experiment used in the article. **Results.** Structural system analysis of functional class of disk magnetic separators with the active end surface completed. Determined class genetic program that reflecting its specific composition. Evolutionary experiments made based on results of patent information search, which showed that class evolution of disk magnetic separators is carried out in accordance with the genetic program. Species composition of hybrid devices of this class defined. It is shown that hybrid structures may be prepared by combining of field sources that belong to various groups of electromagnetic symmetry with different orientation feature. Structural representatives of real-information species of circular magnetic separators revealed. Innovative potential of class identified. With use of results the problem by creating new design of magnetic separators with improved discharge conditions solved. Search target functions is defined. Model of disk separator genetic structure and genetic complexity level defined. By results of research competitive solution on magnetic separator with self-cleaning work surface received. **Originality.** For the first time carried out comprehensive structural and systematic analysis of functional class of magnetic separators with active end surface, which provided full information about species composition of class. **Practical value.** By using genetic modeling obtained a new technical solution protected with patents and some technical solutions are under patent. References 20, table 2, figures 3.

**Key words:** magnetic separator, magnetic field, system, structure, synthesis.



## REFERENCES

1. GOST 25006-81, *Oborudovanie obogatitelnoe. Terminy i opredeleniya* [Mineral processing equipment. Terms and Definitions], Available at: [http://www.complexdoc.ru/pdf/GOST\\_25006-81/gost\\_25006-81.pdf](http://www.complexdoc.ru/pdf/GOST_25006-81/gost_25006-81.pdf) (in Russian)
2. Shvedchikova, I.A. and Zemzyulin, M.A. (2012), "Justification path directional selection of a new design of magnetic separator disk", *Visnik Shidnoukrayinskogo natsionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya*, no. 2, pp. 58–63. (in Russian)
3. Shvedchikova, I.A. (2013), "The calculation of the magnetic field by the electromagnet lifting conformal transformations", *Elektrotehnika i elektromehaniika*, no. 1. pp. 38–40. (in Russian)
4. Sochnev, A.Ya. (1950), "Disc magnetic separator". *Certificate of authorship* 94773 SSSR, MKI B 03 C 01/16, № 434699/9113; zayavl. 18.09.50. (in Russian)
5. Baralyuk, V.I., Moskalenko, S.V., Shatirishvili, O.V. and Shatirishv, V.O. (2007), "Disc magnetic separator "DMS", *Patent Ukrainy* 21724 MKIB 03 C1/24, № u200700182; zayavl. 09.01.07; opubl. 15.03.07, Byul. no. 3. (in Ukrainian)
6. Kartashyan, V.O., Nesterenko, A.P., Kapustyanov, V.N. and Shvedchikova, I.A. (1991), "Iron separator", *Certificate of authorship* 1639756 USSR, MKI B03 C 1/18, № 4647121/03; zayavl. 22.12.88; opubl. 07.04.91, Byul. no. 13. (in Russian)
7. Nagasima, T. (1981), "Modern magnetic separation units", *Kagaku kogaku*, Vol.45, no. 4, pp. 226–234. (in Russian)
8. Shvedchikova, I.A. and Zemzyulin, M.A. (2011), "Information provision of genetic synthesis procedure of magnetic separators", *Vestnik Natsionalnogo Tehnicheskogo Universiteta «Harkovskiy politehni-cheskiy institut»*, no. 48, pp. 56–64. (in Russian)
9. Shinkarenko, V.F. and Gaidaenko, Y. (2010), "Structural and systemic analysis of hybrid electromechanical objects within the species level", *Elektrotehnika i elektromehaniika*, no. 5, pp. 30–33. (in Russian)
10. Shynkarenko, V.F. and Shymanska, A.A. (2015), *Slovnnyk iz strukturnoi ta genetychnoi elektromehaniiky* [Glossary of structural and genetic electro mechanics], NTUU «KPI», Kiev. (in Ukrainian)
11. Shinkarenko, V., Shvedchikova, I. and Kotlyarova, V. Evolutionary experiments in genetic electromechanics, International scientific Conference «Unitech'13», 22–23 November 2013, Gabrovo, Bulgaria, Vol. 3, pp. 289–294.
12. Shvedchikova, I.A. (2013), "Evolutionary and experimental studies of the functional class of magnetic separators", *Pratsi Tavriyskogo derzhavnogo agrotehnichnogo universitetu*, Vol. 13, no. 4, pp. 96–103. (in Russian)
13. Shvedchikova, I.A. (2009), "Defining the functional class of magnetic separators innovation potential", *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu imeni Mihayla Ostrogradskogo*, no. 3, pp. 86–89. (in Russian)
14. Foul, F. (1927), *Spravochnik po elektrotehnike* [Handbook electrical engineering], Aktsionerhoe izdatelskoye obschestvo, Moscow. (in Russian)
15. Derkach, V.G. and Datsyuk, V.G. (1974), "*Elektromagnitnyie protsessy obogascheniya*" [Electromagnetic processes of enrichment], Metallurgizdat, Moscow. (in Russian)
16. Shinkarenko, V.F. and Shvedchikova, I.A. (2009), "Pristriy dlya viluchennya metalevih vkluchen", *Patent Ukrainy* 43555, MKIB 03 S 1/00, appl. 02.03.09; publ. 25.08.09, Byul. no. 16. (in Russian)
17. Shvedchikova, I.O., Golubeva, S.M. and Zemzyulin, M.O. (2010), "A device for removing metallic inclusions", *Patent Ukraini* 54723, MKI B 03 C 1/24, appl. 19.04.10; opubl.25.11.10, Byul. no. 22. (in Russian)
18. Shvedchikova, I.A., Golubeva, S.M. and Suharevska, N.O. (2009), "Disc magnetic separator", *Patent Ukrainy* 48517, MKI B 03C 1/24, appl. 20.08.09; opubl. 25.03.10, Byul. no. 6. (in Russian)
19. Shvedchikova, I.A., Zemzyulin, M.O. and Hohola, T.V. (2011), "Disc magnetic separator", *Patent Ukrainy* 1551, MKI B 03 C 1/24., appl. 13.12.10; publ. 25.07.11, Byul. no. 14. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 03.09.2016.