

УДК 621.318

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КЛАССА МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

*Шведчикова И.А., к.т.н., доц.*

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск*

*91034 г. Луганск, кв. Молодежный, 20-а*

*E-mail: formula@cci.lg.ua*

Визначено область існування породжувальних структур і видове різноманіття функціонального класу магнітних сепараторів на прикладі відкритих багатополюсних магнітних систем з безперервним (автоматичним) розвантаженням витягнутих ферромагнітних предметів. Визначено структурний та інноваційний потенціал класу.

**Ключові слова:** магнітний сепаратор, систематика, породжувальна структура, вид, синтез.

The area of existence of inducing structures and special variety of magnetic separators functional class on the example of open multipolar magnetic systems with continuous (automatic) unloading of taken ferromagnetic subjects are determined. The structural and innovative potential of class are determined.

**Key words:** magnetic separator, systematic, inducing structure, specie, synthesis.

**Введение.** Особую группу электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) функционального назначения, в которых первичная энергия (электрическая энергия намагничивающих обмоток или энергия магнитного поля постоянных магнитов) превращается в механическую энергию движения извлекаемых ферромагнитных тел, образуют магнитные сепарирующие устройства или магнитные сепараторы (МС). МС используются в технологических процессах при обогащении полезных ископаемых, на предприятиях стекольной, керамической, пищевой отраслей промышленности, сахароперерабатывающих заводах, химическом производстве и в биомедицине, при переработке вторичного сырья и металлического лома.

**Анализ предыдущих исследований.** МС в общем случае структурно объединяют в себе следующие устройства: магнитные (электромагнитные) системы; транспортирующие устройства (например, обечайки барабанов и ленты), предназначенные для перемещения магнитных частиц в рабочем объеме сепаратора и их последующей разгрузки; устройства подачи исходного материала в рабочее пространство сепаратора; приводные механизмы и электродвигатели; пускорегулирующую аппаратуру и контрольно-измерительные приборы; устройства для сбора и последующей разгрузки продуктов разделения. Возможность функционирования МС существенным образом зависит от преобразований энергии и массы, имеющих место, прежде всего, в его магнитной системе [1].

Огромное структурное разнообразие МС требует разработки и применения системной методологии исследования этого разнообразия с целью упорядочения существующих структурных разновидностей и прогноза новых структур. Решение указанной системной задачи возможно в рамках теории структурной организации и эволюции электромеханических систем [2], согласно которой структурную основу

расширяющегося разнообразия ЭМПЭ составляет конечное множество порождающих электромагнитных элементов, обладающих генетическими свойствами. Электромагнитные, геометрические и топологические свойства порождающих элементов упорядочены в генетической классификации (ГК) первичных источников поля  $S_0$ .

Одной из важнейших задач системного уровня (основной задачей геносистематики) является определение видового разнообразия функциональных классов электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ). Как отмечается в работе [3], решение указанной задачи создает основу для перехода к качественно новой, управляемой инновационной стратегии исследования и освоения новых разновидностей ЭМПЭ, характеризующихся полнотой и упорядоченностью информации и существенной экономией временных и материальных ресурсов на поиск потенциально возможных структурных вариантов, удовлетворяющих заданной функции цели.

Анализ информационных источников по магнитной сепарации показал [4], что, несмотря на длительную эволюцию класса магнитных сепараторов (более 200 лет) и достаточно большое число технических решений, в этой области практически отсутствуют системные исследования, а магнитные сепараторы относятся к наименее изученным объектам систематики ЭМПЭ.

**Цель работы.** Цель работы определение области существования порождающих структур базовых Видов функционального класса МС  $Q_{МС}$ , т.к. видовое разнообразие функциональных классов электромеханических систем определяется совокупностью порождающих их структур.

**Материал и результаты исследований.** Постановке указанной цели предшествовал генетический анализ существующего разнообразия МС по результатам информационного и патентного поисков с идентификацией генетических кодов известных

структурных представителей исследуемого класса МС [5, 6]. Для функционального класса МС область  $Q_{МС}$  определяется элементарным базисом ГК, т.е. на множестве источников поля  $S_0$ , выполняющих в задачах генетического синтеза функцию родительских хромосом. Рассмотрим задачу определения области существования порождающих структур  $Q_{МС}$  базовых Видов функционального класса МС на примере открытых многополюсных магнитных систем с непрерывной (автоматической) разгрузкой извлеченных ферромагнитных предметов. Ограничимся рассмотрением устройств, которые предназначены для установки над транспортерами 1 (рис.1), перемещающим какой-либо сыпучий материал 2 (руду, уголь, пищевые продукты и т.д.). Рабочая глубина извлечения таких устройств определяется расстоянием  $h$  (рис.1) от транспортера до уровня рабочих граней полюсов магнита 3, т.е. как  $h=d+\delta$ , где  $d$  – наибольшая толщина слоя сыпучего материала на ленте транспортера;  $\delta$  - технологический зазор, необходимый для обеспечения свободного потока сыпучего материала под МС.

В рабочем режиме магнитная система создает стационарное (реже переменное) неоднородное магнитное поле, обеспечивая высокую интенсивность и необходимую степень неоднородности поля в относительно большом объеме рабочей зоны, определяемом рабочей глубиной извлечения  $h$ , шириной рабочей зоны  $b$  и длиной рабочей зоны извлечения  $l$  (рис.1). Под действием магнитного поля ферромагнитные включения 4, содержащиеся в потоке сепарируемого материала 2, извлекаются, т.е. перемещаются в направлении к полюсам 3. Для осуществления разгрузки извлеченных включений такие МС обычно снабжаются специальным разгрузочным устройством в виде движущейся вокруг магнитной системы 3 бесконечной транспортерной ленты с закрепленными на ней скребками из немагнитного материала для захвата и удаления ферромагнитных предметов. С помощью ленты извлеченные включения перемещаются в сторону от транспортера и за пределы рабочего объема магнитного поля, где, благодаря практически полному отсутствию магнитного поля, отпадают в какой-либо приемник под действием собственного веса.

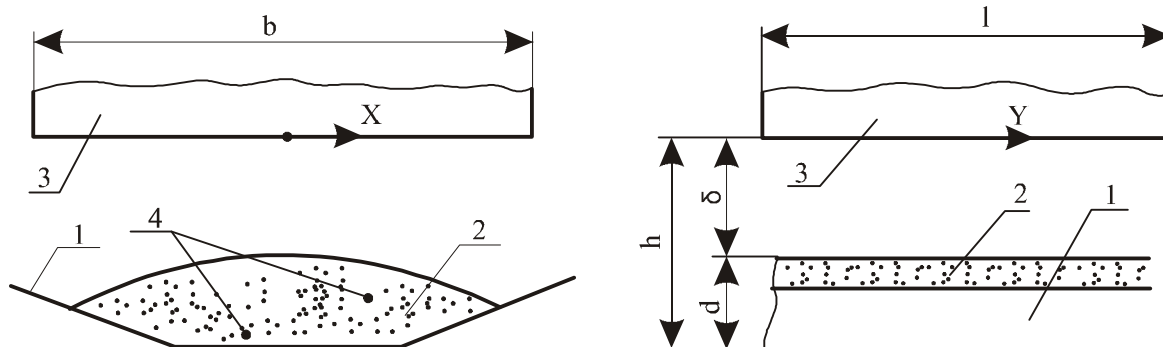


Рисунок 1 – Взаимное расположение МС и транспортера с сыпучим материалом:  
 1 – ленточный транспортер; 2 – сыпучий материал; 3 – магнитная система;  
 4 – ферромагнитные включения в сыпучем материале

В соответствии с положениями генетической теории структурной организации электромеханических систем [2] рассмотренные устройства могут быть отнесены к классу совмещенных систем, в которых структурно объединены компоненты различной генетической природы: магнитная (электромагнитная) система и внутреннее разгрузочное транспортирующее устройство, реализующее требуемый вид пространственного движения (поступательное или вращательное).

Таким образом, необходимыми условиями функционирования структурных представителей рассматриваемого класса МС являются:

1. Открытость и протяженность активной (рабочей) зоны на глубину извлечения  $h$  (целевая функция поиска  $F_{ц1}$ ).

2. Наличие внутреннего транспортирующего устройства (разгрузочной ленты), конструкционно совмещенного с магнитной системой и осуществляющего перемещение извлеченных ферромагнитных предметов через рабочее пространство сепаратора и последующую разгрузку ферромагнитных включений (целевая функция поиска  $F_{ц2}$ ).

3. Установка магнитной системы, совмещенной с разгрузочной лентой, над внешним транспортирующим устройством (ленточным конвейером), служащим для подачи исходного материала с ферромагнитными включениями в зону сепарации (целевая функция поиска  $F_{ц3}$ ).

4. Дискретная структура сепарируемых ферромагнитных частиц (целевая функция поиска  $F_{ц4}$ ).

Отмеченные условия могут быть приняты в качестве обобщенной целевой функции поиска  $F_{ц}$ :

$$F_{ц} = (F_{ц1}, F_{ц2}, F_{ц3}, F_{ц4}). \quad (1)$$

На область синтеза  $Q_{МС}$  вводятся следующие ограничения:

1. Область поиска ограничивается рассмотрением первого большого периода  $\Pi^1$  ГК ( $Q_{МС} \subset S_0 \subset \Pi^1$ ). При этом из рассмотрения исключаются структуры, построенные на электромагнитно симметричных источниках поля группы 0.0, а также на источниках, относящихся к геометрическому классу «тороидальные цилиндрические (ТЦ)».

2. Функциональная структура класса ограничивается рассмотрением разнообразия Видов двух подобластей, реализующих вращательное  $Q_{MCвр}$  и поступательное движение  $Q_{MCпост}$  внутреннего транспортирующего устройства соответственно.

3. На данном этапе решения задачи исключаются из рассмотрения источники-изотопы, которые выполняют функцию порождающих структур по отношению к Видам-близнецам, а также сложные варианты совмещенных систем с многоэлементными и гибридными структурами.

4. Порождающая структура произвольного Вида представляется парной электромагнитной хромосомой, допускающей пространственное совмещение с соответствующим внутренним транспортирующим устройством.

Процедура синтеза порождающей электромагнитной структуры МС может быть представлена в виде конечной последовательности генетических преобразований: «первичный источник электромагнитного поля (родительская электромагнитная хромосома)» → «набор порождающих электромагнитных структур (электромагнитных парных хромосом)» → «совмещенная порождающая электромагнитная структура» → «структура популяций» → «Вид». Основу такой цепи преобразований составляет принцип сохранения генетической информации.

С учетом принятых ограничений задача определения области  $Q_{MC}$  реализуется через процедуру направленного синтеза порождающих электромагнитных структур МС вращательного и поступательного движения внутреннего транспортирующего органа, удовлетворяющих заданной целевой функции  $F_{ц}$ .

Область существования порождающих структур МС с вращательным движением транспортирующего устройства  $Q_{MCвр}$  будет иметь вид:

$$Q_{MCвр} = \left| \begin{array}{l} 0.2 | ЦЛ0.2у, КН0.2у, СФ0.2у | \\ 2.2 | ЦЛ2.2у, КН2.2у, СФ2.2у | \end{array} \right|. \quad (2)$$

В выражении (2) указаны только коды хромосом базового уровня, где ЦЛ, КН, СФ – геометрические классы структур; у – пространственная ориентация волны поля на поверхности порождающего источника поля (в этом направлении вращается также и транспортирующий орган).

Подобласть  $Q_{MCвр}$  содержит 6 порождающих структур базового уровня, удовлетворяющих  $F_{ц}$ , и инвариантных к способу возбуждения магнитного поля (магнитоэлектрический или на основе многофазных обмоток переменного тока). Перемещение транспортирующего (разгрузочного) устройства может осуществляться как относительно подвижной (вращающейся) магнитной системы, так и относительно неподвижной магнитной системы, у которой вращается обечайка. В первом случае речь идет о МС динамического типа  $Q_{MCврдин}$ , а во втором случае – о структурах статического типа  $Q_{MCврст}$ , области

существования которых совпадают  $Q_{MCврдин} = Q_{MCврст}$  и определяются подобластью  $Q_{MCвр}$ .

Область существования порождающих структур МС с поступательным движением транспортирующего устройства  $Q_{MCпост}$  определяется геометрическими классами структур с плоской формой активной зоны (геометрические классы «плоские (ПЛ)» и «тороидальные плоские (ТП)»):

$$Q_{MCпост} = \left| \begin{array}{l} 0.2 | ПЛ0.2у, ТП0.2у | \\ 2.0 | ПЛ2.0х, ТП2.0х | \\ 2.2 | ПЛ2.2ху, ТП2.2ху | \end{array} \right|. \quad (3)$$

Подобласть  $Q_{MCпост}$  содержит 8 порождающих структур базового уровня, удовлетворяющих  $F_{ц}$  и инвариантных к способу возбуждения магнитного поля. Области существования порождающих структур динамического и статического типов в этом случае также совпадают и определяются подобластью  $Q_{MCпост}$ .

Таким образом, структурное разнообразие порождающих структур функционального класса МС с открытой активной зоной и внутренним транспортирующим устройством в виде разгрузочной ленты представлено 14 родительскими хромосомами базового уровня. Разделение хромосомного набора на два самостоятельных подмножества по признаку пространственного движения внутреннего транспортирующего устройства указывает на существование двух таксономических групп надродового уровня.

По виду электромагнитной симметрии источников поля разнообразие исследуемых систем представлено по трем группам структуры ГК: у - дисимметричных (х-симметрия, у-асимметрия) – группа  $T_{02}$ ; х - дисимметричных – (х-асимметрия, у-симметрия) – группа  $T_{20}$ ; электромагнитно асимметричных – группа  $T_{22}$ .

Искомая область  $Q_{MC}$ , представленная выражениями (2) и (3), определяет количественный состав, генетическое разнообразие базовых Видов и одновременно представляет собой генетическую классификацию исследуемого класса совмещенных МС. С учетом этого видовой уровень класса МС может быть представлен 14 базовыми Видами, которые и составляют основу его структурной эволюции.

В структуре геносистематики Видов различают Виды, которые имеют различный статус в зависимости от времени их эволюции [2]. По указанному критерию Виды подразделяются на: реальные ( $S_R$ ), структурные представители которых технически реализованы и находят практическое применение; информационные ( $S_I$ ), структурные представители которых представлены на различных носителях информации (в чертежах, патентах, статьях, и т.д.) и неявные ( $S_G$ ), структурные представители которых генетически предсказуемы, но информация по ним или не обнаружена, или полностью отсутствует на данном этапе эволюции класса.

Таким образом, видовое разнообразие  $H_S$  функционального класса МС можно представить тремя конечными подмножествами:

$$H_S = S_R + S_I + S_G. \quad (4)$$

Видовое разнообразие, определяемое на множестве  $H_S$ , инвариантно ко времени эволюции и составляет понятие «идеального класса»  $S_I$  МС, т.к., содержит полную информацию, включающую Виды, которые появились за время эволюции класса, и потенциально возможные или неявные Виды. Количество реально-информационных Видов  $S_R + S_I$  всегда меньше видового разнообразия неявных видов ( $S_R + S_I < S_G$ ). Задача определения, изучения и эффективного использования свойств неявных Видов  $S_G$  и составляет сущность прогностической функции геносистематики.

По результатам информационного поиска реально-информационные Виды подкласса МС с вращательным движением внутреннего транспортирующего устройства представлены 2 базовыми Видами ЦЛ0.2у и ЦЛ2.2у (33,3%), а остальные 4 Вида (66,7%) – представители неявных Видов.

Для подкласса МС с поступательным перемещением внутреннего транспортирующего устройства реально-информационные Виды представлены 4 базовыми Видами (50%), относящимися к геометрическому классу «плоские (ПЛ)». При этом доминирующими являются Виды ПЛ2.2Х и ПЛ2.2У, а Виды ПЛ0.2у и ПЛ2.0х представлены лишь единичными техническими решениями (см., например, [7, 8]).

МС рассматриваемого класса характеризуются относительно длительным периодом структурной эволюции (около 100 лет). Однако МС с поступательным движением внутреннего транспортирующего устройства отличаются более высокими темпами эволюции, т.к. в лучшей степени адаптированы к реализации целевой функции  $F_{ц}$ . В подавляющем большинстве случаев МС устанавливаются над ленточными транспортерами, которые также движутся поступательно.

Очевидно [5], что информация о структурных представителях Видов является ограниченной и дискретной. Но даже в условиях ограниченности информации бесспорным является немалый структурный и инновационный потенциал функционального класса МС с внутренним транспортирующим (разгрузочным) устройством.

**Выводы.** 1. Впервые осуществлена постановка задачи геносистематики Видового разнообразия функционального класса МС. Определена область существования порождающих структур класса МС с внутренним транспортирующим (разгрузочным) устройством, представленная 14 родительскими хромосомами базового уровня.

2. Впервые определен количественный состав, уровень эволюции и генетическая информация видового разнообразия класса. Установлено, что видовое разнообразие «идеального класса» МС ограничивается 14 базовыми Видами, из которых 6 относятся к Видам с вращательным движением внутреннего транспортирующего устройства, а 8 – с поступательным движением.

3. Разделение хромосомного набора на два самостоятельных подмножества по признаку пространственного движения внутреннего транспортирующего (разгрузочного) органа указывает на существование двух таксономических групп надродового уровня.

4. Показано, что по уровню эволюции класс МС с поступательным движением внутреннего транспортирующего устройства относится к классу систем, находящихся на промежуточном этапе своей структурной эволюции. Около 50% Видов имеют статус неявных, т.е. определенных в генетическом плане, но незадействованных на практике на данный период структурной эволюции класса.

5. Установлено, что видовое разнообразие МС с вращательным движением внутреннего транспортирующего устройства ограничивается 6 базовыми Видами. По темпам эволюции данный класс МС отстает от аналогичных структур с поступательным движением внутреннего разгрузочного органа, т.к. большинство Видов имеют статус неявных (66,7%), определяющих скрытый (невостребованный) потенциал исследуемого класса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шведчикова И.А. К определению основных понятий в области магнитной сепарации// Вісник НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 35. – С.121-126.
2. Шинкаренко В.Ф. Основы теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
3. Шинкаренко В.ф. На пути к расшифровке генома электромеханических преобразователей энергии// Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”. Ч.3. – 2004. – С. 40-47.
4. Загирняк М.В., Шведчикова И.А. Проблема систематизации магнитных сепараторов// Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”. Ч.8. – 2006. – С. 91-94.
5. Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А. Генетический анализ и систематика видов асинхронных машин поступательного движения (род плоских) // Електротехніка і електромеханіка. - 2003. - № 4. – С.92 – 100.
6. Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Чумак В.В. Макрогенетический анализ и систематика Видов тяговых электромеханических систем типа „Мотор - движитель” //Энергия – XXI век: науч. практ. вестн. – Вып. 4, 2007. – С. 37 – 43.
7. Ленточный магнитный сепаратор; А.с. №716604 В 03 С 1/16/ Егоров В.Л., Ветров И.С., Лаврентьев А.В. - №2678781/22-03; Заявл. 30.10.1978; Опубл. 25.02.1980. Бюл. №7.
8. Электромагнитный сепаратор; А.с. №797771 В 03 С 1/16/ Головкин Ю.П., Леонтьев В.П., Гаврилов Ю.П. - №2732731/22-03; Заявл. 02.03.1979; Опубл. 23.01.1981. Бюл. №3.

Стаття надійшла 30.09.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.ф.-м.н., проф.  
Слізаровим О.І.