

## РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА

*Показано доцільність використання комбінованого підходу, що оснований на поєднанні методологічних інструментів внутрішньо- та міжвидового синтезу, при удосконаленні конструкції дискового магнітного сепаратора.*

*Показана целесообразность использования комбинированного подхода, основанного на сочетании методологических инструментов внутри- и межвидового синтеза, при совершенствовании конструкции дискового магнитного сепаратора.*

### ВВЕДЕНИЕ

Реализация процедуры направленного синтеза новых структурных разновидностей магнитных сепараторов связана с использованием методологических инструментов генетического синтеза, который наряду с генетической систематикой является одним из основных направлений генетической электромеханики [1]. Два вектора эволюции электромеханических систем (микро- и макроэволюция) определяют соответственно и два основных подхода к решению задач генетического синтеза: межвидовой и внутривидовой синтез. Постановка и решение задач направленного поиска и генерации новых структур с использованием генетических моделей видообразования составляет сущность генетического внутривидового синтеза электромеханических систем. Основу генетических алгоритмов внутривидового синтеза образуют генетические операторы синтеза (скрещивания, репликации, инверсии, мутации) [2]. В основе межвидового синтеза лежит перенос генотипических и фенотипических признаков структуры-прототипа на гомологически подобные структуры [3].

На практике при совершенствовании известных конструкций магнитных сепараторов применение методологических инструментов каждого из указанных подходов в отдельности не всегда гарантирует получение приемлемого результата. В этих условиях актуальны исследования, направленные на разработку комбинированных методологических подходов к решению задач направленного синтеза.

С учетом вышесказанного, в настоящей статье выносятся на обсуждение результаты исследований по применению комбинированного подхода при разработке усовершенствованной конструкции магнитного сепаратора.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Постановку и решение задачи направленного синтеза с использованием комбинированного подхода будем осуществлять на примере совершенствования конструкции дискового магнитного сепаратора, применяемого для очистки от ферромагнитных примесей тонкоизмельченных сыпучих материалов, транспортируемых ленточными конвейерами.

Исследуемый магнитный сепаратор (рис. 1) включает ферромагнитный диск 1, установленный с возможностью вращения в горизонтальной плоскости над поверхностью транспортируемого сыпучего материала, концентрические кольцевые магниты 2, закрепленные на диске и в межполюсном рабочем зазоре которых образуется магнитное поле с относительно

высоким градиентом напряженности [4].

Анализ генетической информации рассматриваемого сепаратора (рис. 1) показывает, что данный тип устройства принадлежит к подсемейству магнитных сепараторов вращательного движения, к Виду тороидальных плоских (ТП), продольно симметричных у-ориентированных структур (генетический код ТП 0.2у). Представленный на рис. 1 вариант конструкции магнитного сепаратора является генетически чистым, т.е. состоит только из индуктора, являющегося источником магнитного поля, и может быть отнесен к хромосомному уровню структурной организации [5].

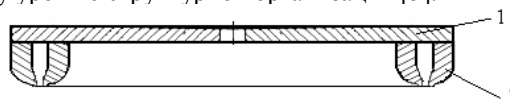


Рис. 1. Исходная конструкция магнитного сепаратора

Основными недостатками такого магнитного сепаратора (рис. 1) являются:

1. Низкая эффективность рабочего процесса сепарации из-за использования только одной пары кольцевых магнитов.

2. Сложность разгрузки извлеченных ферромагнитных включений, в т.ч. за счет их остаточной намагниченности. Для очистки поверхности магнитов требуется остановка рабочего процесса сепарации.

Задача повышения эффективности рабочего процесса сепарации относится к хромосомному уровню и может быть решена за счет использования многополюсной магнитной системы. Решение данной задачи связано с синтезом генетической модели структурообразования генома базового Вида ТПО.2у, к которому принадлежит исходная структура магнитного сепаратора.

Задача по улучшению разгрузки извлеченных ферромагнитных включений относится к системному уровню и может быть решена с использованием закона гомологических рядов (ЗГР) [3]. В этом случае выполняется последовательный перенос некоторых существенных признаков базовых структур (структур-прототипов), отвечающих за создание условий, направленных на улучшение условий разгрузки, на синтезированные гомологически подобные структуры из генома базового Вида ТПО.2у.

Таким образом, отмеченные особенности исходной конструкции магнитного сепаратора задают общее направление процедуры синтеза и позволяют определить обобщенную целевую функцию  $F_S$  синтеза в следующем виде

$$F_S = (p'_{Si}, p''_{Si}), \quad (1)$$

где  $p'_{si}$  – совокупность характерных признаков синтезируемых структур, отвечающих на хромосомном уровне за эффективность рабочего процесса сепарации;  $p''_{si}$  – совокупность характерных признаков синтезируемых структур, отвечающих на системном уровне за создание условий, направленных на улучшение условий разгрузки извлеченных ферромагнитных тел.

Практическая реализация комбинированного подхода предполагает следующую последовательность алгоритмических процедур:

- определение набора парных электромагнитных хромосом (структур), образующих геном базового Вида  $ТП 0.2y$ , и удовлетворяющих в пределах принятых ограничений целевой функции  $F_S$  синтеза;

- выбор структур-прототипов и определение инвариантных признаков этих структур, удовлетворяющих целевой функции  $F_S$  синтеза;

- последовательный перенос существенных признаков структур-прототипов на синтезированные гомологически подобные структуры из генома базового Вида  $ТП 0.2y$ ;

- визуализация и систематизация результатов синтеза.

Таким образом, задача направленного синтеза усовершенствованной конструкции дискового магнитного сепаратора с использованием комбинированного подхода может быть сформулирована следующим образом: по известным исходной структуре, принадлежащей к базовому Виду  $ТП 0.2y$ , и обобщенной целевой функции  $F_S = (p'_{si}, p''_{si})$  синтезировать конечное множество структур, удовлетворяющих функции  $F_S$ .

### ГЕНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГЕНОМА БАЗОВОГО ВИДА $ТП 0.2y$

Определение области существования, синтез и расшифровка порождающих хромосомных наборов, определяющих Видовое и популяционное разнообразие класса магнитных сепараторов с открытой рабочей зоной, выполнено в работе [2].

Для реализации процедуры синтеза генома базового Вида  $ТП 0.2y$  необходимо определить существенные признаки  $p'_{si} = (i = 1, 2, \dots)$  синтезируемых структур, удовлетворяющие целевой функции  $F_S$  синтеза. К таким признакам следует отнести:  $p'_{s1}$  – многополюсный индуктор магнитного поля;  $p'_{s2}$  – радиально-лучевую последовательность пространственной компоновки полюсов индуктора.

Для корректного решения задачи на область синтеза  $Q_S$  накладываются следующие ограничения  $L_1$ :

1. Генетический оператор  $f_R$  репликации отвечает за количественный состав пространственных композиций (структур), образованных соответственно из  $k_R$ -го количества пар полюсов индуктора, где  $k_R$  – коэффициент репликации, удовлетворяющий условию  $k_R \leq 2$ .

2. Генетический оператор  $f_E$  электромагнитной инверсии моделирует процессы в многополюсном индукторе, связанные с изменением полярности полюсов.

3. Из рассмотрения исключается хромосомный набор третьего поколения, представленный порождающими структурами  $S_{31}$  и  $S_{32}$ , образованными композицией операторов мутации  $f_{M(1)}$  и электромагнитной инверсии  $f_E$  [2].

Исходной пространственной структурой при реализации процедуры синтеза (табл. 1) является хромосома-репликатор первого поколения  $S_0$  ( $k_R = 1$ ), отвечающая за наследственные признаки двухполюсных систем (индукторов) магнитных сепараторов, к которым принадлежит и исходная структура магнитного сепаратора (рис. 1). С учетом  $p'_{s2}$  и принятых ограничений хромосома-репликатор  $S_0$  может быть представлена пространственной композицией структурного изомера  $S_{X1}$  с радиально-лучевой последовательностью пространственной компоновки полюсов индуктора [6]

$$f(S_0) \rightarrow (S_{X1}), \quad (2)$$

где  $f$  – функция геометрического преобразования.

В структуре генома базового Вида  $ТП 0.2y$  с открытой рабочей зоной за наследственные признаки многополюсных ( $k_R = 2$ ) систем магнитных сепараторов отвечает реплицированная хромосома  $S_{21}$

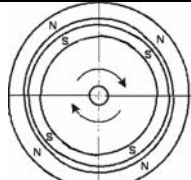
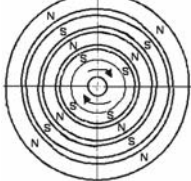

$$S_{21} = k_R S_0. \quad (3)$$

Порождающая структура  $S_{22}$  определяет структурное наполнение популяции  $P_{22}$  реплицированных инверсных структур

$$(f_E(S_{21}) \rightarrow S_{22} \rightarrow P_{22}) \subset S_{ТП0.2y} \quad (4)$$

При  $k_R = 2$  пространственная структура изомера (структура  $S_{X2}$ ) может быть получена путем параллельного переноса  $S_{X1}$  вдоль рабочей поверхности диска индуктора. Результаты расшифровки генома базового Вида  $ТП 0.2y$  сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расшифровки генома				
Исходные структуры	Оператор синтеза	Порождающие структуры	Структурный код изомера	Визуализация результатов синтеза
Исходная структура магнитного сепаратора				
$ТП 0.2y$	–	$S_0$	$S_{X1}$	
Синтезированные структуры из области $Q_S$				
$S_0$	$f_{R(1)}$ – репликация по индуктору ( $k_R = 2$ )	$S_{21}$	$S_{X2}$	
$S_{21}$	$f_E$ – электромагнитная инверсия	$S_{22}$	$S_{X2}$	

Таким образом, структуру генома базового Вида  $ТП 0.2y$  магнитных сепараторов с открытой рабочей зоной (область  $Q_S$  синтеза) с учетом принятых ограничений можно представить двумя поколениями электромагнитных хромосом, удовлетворяющих заданной функции  $F_S$  цели. При этом хромосома-репликатор первого поколения  $S_0$  с учетом  $p'_{s1}$  не входит в область синтеза  $Q_S$

$$Q_S = \{S_{21}, S_{22}\} \subset S_{ТП0.2y}. \quad (5)$$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ ПРИЗНАКОВ СТРУКТУР-ПРОТОТИПОВ

В качестве выходной информации для постановки задачи направленного поиска и синтеза новых структур магнитных сепараторов с использованием ЗГР приняты две базовые структуры (структуры-прототипы): структура  $S_{P1}$  шкивного электромагнитного сепаратора (рис. 2, а) [7] и структура-прототип  $S_{P2}$  дискового магнитного сепаратора (рис. 2,б) [8]. Структуры-прототипы представлены в виде информационной (формульная часть описания изобретений [7, 8]) и геометрической (рисунки, поясняющие работу устройства и содержащиеся в [7, 8]) моделей (рис. 2).

Особенностью структуры  $S_{P1}$  является наличие разгрузочных узлов, выполненных в виде диамагнитных вставок 2, расположенных в полюсах магнитной системы 1 сепаратора (рис. 2,а). При этом по окружности барабана в местах расположения диамагнитных вставок создаются зоны с ослабленным магнитным полем, где происходит отрыв и удаление извлеченных ферромагнитных тел. В результате этого исключается возможность скопления ферромагнитных предметов в зоне разгрузки и предотвращается возможное разрушение транспортной ленты.

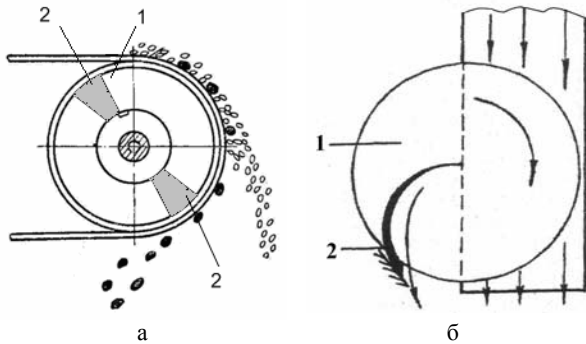


Рис. 2. Базовые структуры магнитных сепараторов:  
а) шкивной электромагнитный сепаратор [7];  
б) магнитный сепаратор дискового типа [8]

Особенностью структуры  $S_{P2}$  является наличие немагнитного вращающегося разгрузочного диска 1 и скребка 2, установленного под разгрузочным диском 1 (рис. 2,б). Немагнитный диск также служит защитным экраном для магнитной системы (на рис. 2,б не показана), а скребок 2 препятствует чрезмерному накоплению ферромагнитных частиц к поверхности диска 1, улучшая условия разгрузки.

Таким образом, наличие диамагнитных вставок в базовой структуре  $S_{P1}$ , а также немагнитного разгрузочного диска и скребка в структуре  $S_{P2}$  позволяет улучшить условия разгрузки извлеченных ферромагнитных включений.

Анализ генетической информации электромагнитного шкива (рис. 2,а) [7] показывает, что данный тип устройства принадлежит к подсемейству магнитных сепараторов вращательного движения, к Виду цилиндрических ( $ЦЛ$ ) и характеризуется электромагнитной асимметрией как в продольном ( $x$ ), так и поперечном ( $y$ ) направлении распространении волны электромагнитного поля (2.2). Выявленные особенности структуры-прототипа  $S_{P2}$  позволяют отнести ее к базовому Виду цилиндрических  $y$ -ориентированных структур (генетический код  $2ЦЛ$  2.2 $y$ ) семейства магнитных сепараторов.

Анализ генетической информации дискового магнитного сепаратора (рис. 2,б) [8] показывает, что данный тип устройства принадлежит к подсемейству магнитных сепараторов вращательного движения, к Виду тороидальных плоских ( $ТП$ ) и характеризуется электромагнитной асимметрией как в продольном ( $y$ ), так и в поперечном ( $x$ ) направлении распространении волны электромагнитного поля (2.2). Выявленные особенности структуры-прототипа  $S_{P2}$  позволяют отнести ее к базовому Виду тороидальных плоских асимметричных  $y$ -ориентированных структур (генетический код  $ТП$  2.2 $y$ ) семейства магнитных сепараторов.

Для определения Видового состава  $Q_T$  гомологически подобных структур необходимо выделить существенные признаки структур-прототипов  $S_{P1}$  и  $S_{P2}$ , удовлетворяющие целевой функции (1) синтеза. К существенным признакам  $p''_{s_i}$  структур-прототипов, определяющим инвариантные свойства структуры гомологического ряда, следует отнести:  $p''_{s1}$  – наличие вращающегося индуктора, магнитные полюса которого разделены диамагнитными вставками ( $p''_{s1} \in S_{P1}$ );  $p''_{s2}$  – возможность размещения в пространстве между индуктором и транспортируемым материалом подвижного немагнитного разгрузочного экрана ( $p''_{s2} \in S_{P2}$ );  $p''_{s3}$  – возможность размещения под немагнитным разгрузочным экраном скребка ( $p''_{s2} \in S_{P2}$ ).

Для корректного решения задачи синтеза на область  $Q_T$  синтеза также накладываются ограничения  $L_2$ :

1. Синтез осуществляется в пределах первого большого периода генетической классификации ( $P' \subset \langle S_o \rangle$ ), где  $\langle S_o \rangle$  – упорядоченное множество первичных источников электромагнитного поля в периодической структуре генетической классификации).

2. На данном этапе решения задачи синтеза из рассмотрения исключаются электромагнитные системы с неподвижным индуктором, а также сложные варианты совмещенных систем с многоэлементными и гибридными структурами.

## ПЕРЕНОС СУЩЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СТРУКТУР-ПРОТОТИПОВ

### НА СИНТЕЗИРОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ ГЕНОМА

Перенос структурных признаков может быть осуществлен только в пределах соответствующего структурного ряда топологически родственных Видов. Переносятся только те структурные признаки, которые инвариантны относительно геометрической формы первичного источника поля [1].

Перенос структурного признака  $p''_{s1}$  структуры-прототипа  $S_{P1}$  (генетический код  $2ЦЛ$  2.2 $y$ ) осуществляется на топологически родственные структуры базового Виду  $ТП$  0.2 $y$  из области синтеза  $Q_S$ . Этот процесс сопровождается усложнением структур, принадлежащих области  $Q_S$ , и их дисимметризацией. Согласно принципу дисимметризации Кюри [1] структуры, полученные в результате параллельного переноса признака  $p''_{s1}$ , будут иметь более высокую группу электромагнитной симметрии (2.2) по отношению к группе электромагнитной симметрии (0.2) исходных структур из области  $Q_S$ .

Таким образом, в результате переноса существенного признака  $p''_{s1}$  структуры-прототипа  $S_{P1}$  получена совокупность структур  $\{S_{S11}, S_{S12}\}$ , относящихся к базовому Виду  $ТП$  2.2 $y$ ,

$$(p''_{S1} \rightarrow Q_S) \rightarrow \{S_{S11}, S_{S12}\} \subset S_{III.2.y}. \quad (6)$$

Результаты синтеза структур приведены на рис. 3, в т.ч.: структура  $S_{S11}$  (рис. 3,а), структура  $S_{S12}$  (рис. 3,б).

Перенос совокупности структурных признаков  $(p''_{S2}, p''_{S3}) \in S_{P2}$ ; (генетический код структуры-прототипа  $III.2.y$ ) осуществляется на топологически родственные структуры из ряда  $\{S_{S11}, S_{S12}\} \subset S_{III.2.y}$  (рис. 3)

$$[(p''_{S2}, p''_{S3}) \rightarrow \{S_{S11}, S_{S12}\}] \rightarrow \{S_{S21}, S_{S22}\} \subset S_{III.2.y}. \quad (7)$$

Конечные результаты синтеза структур будут иметь вид (рис. 4), в т.ч.: структура  $S_{S12}$  (рис. 4,а), структура  $S_{S22}$  (рис. 4,б). На рис. 4 показаны: 1 – индуктор; 2 – немагнитная вставка; 3 – скребок; 4 – немагнитный разгрузочный экран.

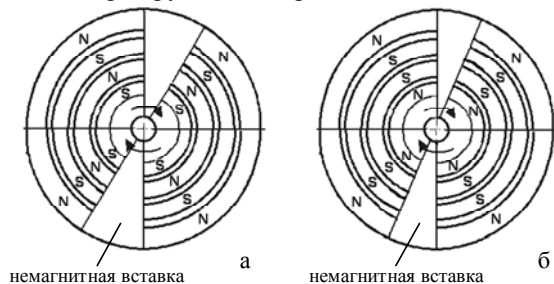


Рис. 3. Результаты синтеза структур:  
а) структура  $S_{S11}$ ; б) структура  $S_{S12}$

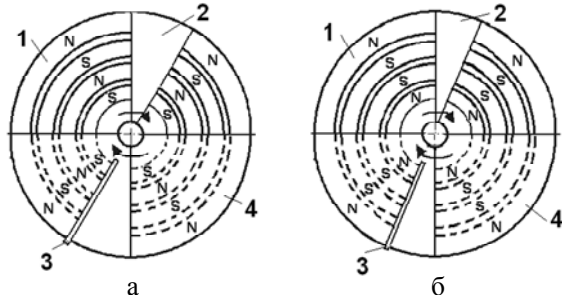


Рис. 4. Конечные результаты синтеза структур:  
а) структура  $S_{S21}$ ; б) структура  $S_{S22}$ .

Таким образом, в результате реализации процедуры комбинированного синтеза получено упорядоченное множество альтернативных структур  $\{S_{S11}, S_{S12}\}$  дискового магнитного сепаратора (рис. 4), изоморфное с множеством конечных структур и имеющее очевидные преимущества перед исходной конструкцией магнитного сепаратора (рис. 1). При этом критерием выбора предпочтительной структуры, позволяющим упорядочить элементы множества  $\{S_{S11}, S_{S12}\}$ , является интенсивность магнитного поля в рабочей зоне сепаратора, оценка которой выходит за рамки настоящей статьи.

По результатам исследований выполнено патентование синтезированной структуры  $S_{S22}$  дискового магнитного сепаратора [9], что подтверждает целесообразность практического применения принятой методики синтеза.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена последовательность алгоритмических процедур для реализации комбинированного подхода при совершенствовании конструкции дискового магнитного сепаратора. С использованием указанного подхода синтезированы две усовершенствованные конструкции, новизна одной из которых подтверждена патентом.

Результаты исследований составляют основу для проведения дальнейших системных исследований класса магнитных сепараторов и могут быть использованы при создании генетических банков инноваций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
2. Шведчикова И.А. Определение внутривидового структурного разнообразия магнитных сепараторов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2009. – Вип. 5(58). – Частина 1. – С.18-22.
3. Шинкаренко В.Ф. Направленный поиск и синтез структур специальных электрических машин с использованием закона гомологических рядов электромеханических систем / В.Ф. Шинкаренко, В.В. Чумак, А.А. Макаров // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту. – 2001. – № 3. – С. 103-108.
4. А.с. 94773 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 03 С 01/16. Дисковый магнитный сепаратор / А.Я. Сочнев (СССР). – №434699/9113; заявл. 18.09.50.
5. Шинкаренко В.Ф. Уровни представления знаний и классы решаемых задач в технологии генетического предвидения // Електротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 6. – С. 31-36.
6. Шведчикова И.А. Синтез структурных изомеров многополюсных систем магнитных сепараторов // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 1(60). – Частина 1. – С. 17-20.
7. А.с. 179696 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 03 С 01/10. Электромагнитный шкив / Д.С.Чертков, Л.С.Красиловский, А.И. Ильченко и др. (СССР). – №885315/22-3; заявл. 27.11.64; опубл. 28.11.66, бюл. № 6.
8. Пат. 21724 Україна, МПК В03С 1/24 (2007.01). Дисковый магнитный сепаратор "ДМС" / Баралюк В.І., Москаленко С.В., Шатірішвілі О.В. та інші. – № u2007700182, заявл. 09.01.07, опубл. 15.03.07, бюл. № 3.
9. Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель, МПК (2009) В 03 С 1/24. Дисковый магнитный сепаратор / І.О. Шведчикова, С.М.Голубева, Н.О. Сухаревська. - Заявник СНУ ім. В. Даля, № U200908746; заявл. 20.08.09.

Поступила 20.03.2010

*Загирняк Михаил Васильевич, д.т.н, проф.*  
Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского  
кафедра "Электрические машины и аппараты"  
Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20  
тел. (05366) 3-62-19, e-mail: mzagirn@kdu.poltava.ua

*Шведчикова Ирина Алексеевна, к.т.н, доц.*  
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля  
кафедра "Приборы"  
Украина, 91034, Луганск, кв. Молодежный, 20а  
тел. (0642) 41-71-20, e-mail: formula@cci.lg.ua

*Zagirnyak M.V., Shvedchikova I.A.*

#### Development of an improved magnetic separator design based on a combined approach.

Expediency of application of a combined approach based on the combination of methodological instruments of intra- and interspecific synthesis for a disc magnetic separator design improvement is demonstrated.

**Key words – species genome, homology, intraspecific synthesis, interspecific synthesis, combined approach.**