

УДК 621.318

ГЕНЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ НОВИХ СТРУКТУР ПОЛІГРАДІЄНТНИХ МАТРИЦЬ МАГНІТНИХ СЕПАРАТОРІВ**І. О. Шведчикова, Ю. А. Романченко**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
просп. Центральний, 59-а, м. Северодонецьк, 93400, Україна. E-mail: ishved@i.ua

Показана доцільність використання генетичних операторів синтезу для моделювання внутрішньої структури поліградієнтних середовищ. Побудовано узагальнену генетичну модель структуроутворення поліградієнтних середовищ магнітних сепараторів, за допомогою якої визначено рівень їх генетичної складності. Визначено інтегральну функцію синтезу поліградієнтного середовища та побудовано генетичну модель, що визначає порядок застосування генетичних операторів синтезу. Як елементарний породжуючий елемент (моноструктура) середовища прийнята пластина у формі прямокутного трикутника. За допомогою правил симетрії синтезовано ізомерні композиції поліградієнтних середовищ. Проведено патентно-інформаційний пошук, у результаті якого виявлено структурні представники магнітних сепараторів, поліградієнтні середовища яких можуть бути віднесені до синтезованих ізомерних композицій. Визначено достовірність генетичної моделі структуроутворення поліградієнтного середовища шляхом порівняння результатів патентно-інформаційного пошуку й результатів синтезу. За результатами дослідження отримано патент на нове технічне рішення, чим підтверджена адекватність узагальненої генетичної моделі реальним процесам структуроутворення поліградієнтних середовищ магнітних сепараторів.

Ключові слова: поліградієнтне середовище, генетична модель, генетичний оператор, синтез.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ НОВЫХ СТРУКТУР ПОЛИГРАДИЕНТНЫХ МАТРИЦ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ**И. А. Шведчикова, Ю. А. Романченко**Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
просп. Центральный, 59-а, г. Северодонецк, 93400, Украина. E-mail: ishved@i.ua

Показана целесообразность использования генетических операторов синтеза для моделирования внутренней структуры полиградиентных сред. Построена обобщенная генетическая модель структурообразования полиградиентных сред магнитных сепараторов, с помощью которой определен уровень их генетической сложности. Определена интегральная функция синтеза полиградиентной среды и построена генетическая модель, которая определяет порядок применения генетических операторов синтеза. В качестве элементарного порождающего элемента (моноструктуры) среды принята пластина в форме прямоугольного треугольника. С помощью правил симметрии синтезированы изомерные композиции полиградиентных сред. Проведен патентно-информационный поиск, в результате которого выявлены структурные представители магнитных сепараторов, полиградиентные среды которых могут быть отнесены к синтезированным изомерным композициям. Определена достоверность генетической модели структурообразования полиградиентной среды путем сравнения результатов патентно-информационного поиска и результатов синтеза. По результатам исследования получен патент на новое техническое решение, чем подтверждена адекватность обобщенной генетической модели реальным процессам структурообразования полиградиентных сред магнитных сепараторов.

Ключевые слова: полиградиентная среда, генетическая модель, генетический оператор, синтез.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На теперішній час розроблені численні конструктивні виконання поліградієнтних сепараторів матричного типу, розширюються області їх практичного застосування. Зокрема, поліградієнтні магнітні сепаратори все частіше застосовуються в біомедицині для сепарації наночастинок різних розмірів [1–5]. Так, у роботі [1] надана магнітна система зі значною областю однорідного градієнта напруженості в робочому зазорі й обґрунтовано застосування такої системи для сепарації наночастинок по фракціям у потоці рідини. У [2] розглянуто техніко-економічне обґрунтування застосування високоградієнтної магнітної сепарації для вилучення з розчинів наночастинок магнетиту діаметром близько 8 нм. У [3] розглянуто основні конфігурації матриці високоградієнтного сепаратора, описано сили, що діють на наночастинку в сепараційному каналі. Запропоновано конструкцію мат-

риці сепаратора зі складовими стрижнями для сепарації наночастинок у ліпідних оболонках і виконано моделювання елемента матриці. У роботі [4] порівнюється ефективність застосування феритових і неодимових магнітів у конструкціях сепараторів, призначених для поділу біомагнітних частинок у медицині, шляхом моделювання їх магнітних полів у програмі ANSYS Maxwell. У публікації [5] порушено питання параметричного синтезу стрижневих матриць, виконано моделювання магнітної системи методом кінцевих елементів. Розподіл сили магнітного поля надано у вигляді відносного коефіцієнта. Отримано рівняння балансу сил, яке враховує характер розподілу магнітної сили.

Метод високоградієнтної магнітної сепарації в центробіжному полі розглянуто в [6]. Результати досліджень показали, що зміна магнітної індукції й швидкості обертання матриці має найбільший вплив

на продуктивність сепаратора. Встановлено, що метод високоградієнтної магнітної сепарації у центробіжному полі підвищує ефективність вилучення з 56,41 до 72,50 %.

Початковим і одним із найважливіших етапів у процесі синтезу нових конструкцій магнітних сепараторів є вибір структури поліградієнтної матриці. Проте в зазначених вище роботах обґрунтування вибору структури матриці сепаратора з поліградієнтним середовищем відсутнє.

В електромеханіці на етапі пошукового проектування для вирішення задач структурного синтезу знайшов застосування генетичний підхід, який дозволяє значно скоротити часові й матеріальні витрати під час прийняття рішень [7, 8]. У концепції генетичної еволюції електромеханічних систем основу їх структуроутворення становлять генетичні програми. Під генетичною програмою розуміється кінцева множина електромагнітних хромосом, які разом із генетичними принципами структуроутворення визначають генетично допустиму структурну різноманітність і межі генетичної мінливості структурнащадків [9].

З урахуванням, що генетичні принципи синтезу мають універсальний характер, вони можуть бути використані для вирішення задач синтезу структур матриць поліградієнтних сепараторів, що й обумовлює спрямованість даної роботи.

Метою дослідження є розробка генетичної моделі структуроутворення поліградієнтних середовищ та її застосування для спрямованого пошуку нових зразків матриць поліградієнтних магнітних сепараторів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Генетичне моделювання засновано на застосуванні генетичних операторів синтезу, які відтворюють відповідні механізми розмноження й генетичної мінливості [10, 11]. Генетичний синтез має наступні переваги: забезпечує спрямований характер і повноту синтезу структур за умови заданої цільової функції пошуку; забезпечує можливість автоматизації трудомістких процедур генерації й візуалізації результатів синтезу; визначає стратегію прогнозування нових структур.

При виборі генетичних операторів синтезу враховується наступне [8]:

- за зміну кількісного складу основних компонентів генетичної структури відповідають оператори реплікації f_R (з коефіцієнтом реплікації $k_r = 2, 3, \dots, n$);
- відносна зміна геометричних розмірів і просторової форми активних поверхонь та елементів електромеханічної структури моделюється оператором мутації f_M ;
- зміні порядку просторового розміщення активних частин електромагнітної структури ставиться у відповідність генетичний оператор просторової інверсії f_i ;
- просторове суміщення двох або більше вихідних електромагнітних структур моделюється оператором схрещування f_C .

З використанням перерахованих вище генетичних операторів синтезу побудована узагальнена генетична модель структуроутворення поліградієнтних середовищ (рис. 1). На рис. 1 прийняті наступні позначення: S_0 – елементарна породжувальна структура; S_R – реплікована породжувальна структура; S_R^* – реплікована інверсна структура; S_{RM} – реплікована мутована структура; S_{RM}^* – реплікована інверсна мутована структура; P_1 – популяція реплікованих структур; P_2 – популяція реплікованих інверсних структур; P_3 – популяція реплікованих мутованих структур, P_4 – популяція реплікованих інверсних мутованих структур.

Елементарна породжувальна структура S_0 , як показав аналіз структурних особливостей поліградієнтних середовищ, наданий у [12, 13], може мати вигляд пластини (наприклад, у формі трикутника, прямокутника, квадрату), шару, циліндру, конусу, піраміди тощо (рис. 1).

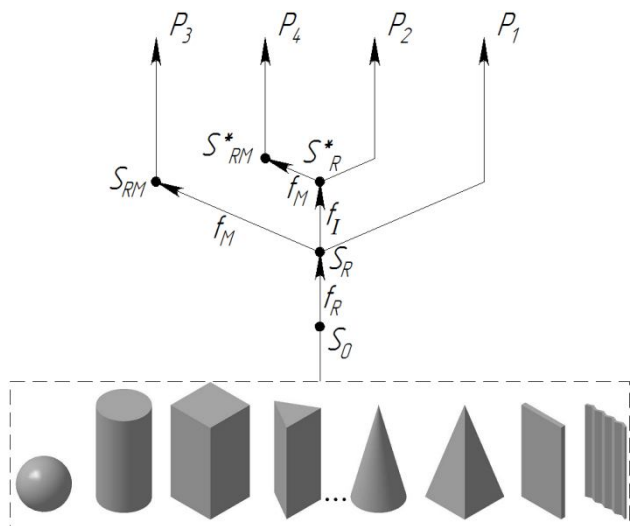


Рисунок 1 – Узагальнена генетична модель структуроутворення поліградієнтного середовища

Основним генетичним оператором структуроутворення поліградієнтних середовищ є оператор реплікації f_R . Правила розміщення реплікованих елементарних породжувальних структур S_0 у просторі визначаються геометричним класом (формою) сепараційного каналу сепаратора та підпорядковані принципам симетрії та ізомерії.

Належність сепараційного каналу до того чи іншого геометричного класу визначається по просторовій геометрії й топології полюсних наконечників, тобто на підставі інформації, що міститься в генетичному коді магнітного сепаратора. Симетрія відповідає за порядок (ритм, періодичність). Ізомерія визначає допустимі варіанти просторових форм реалізації цього порядку (при незмінній кількості елементів).

На рис. 2 для прикладу схематично показані сепараційні канали трьох геометричних класів: плос-

кий (*PL*, рис. 2,а), циліндричний (*CL*, рис. 2,б) і сферичний (*SF*, рис. 2,в), суміщені з відповідними системами координат.

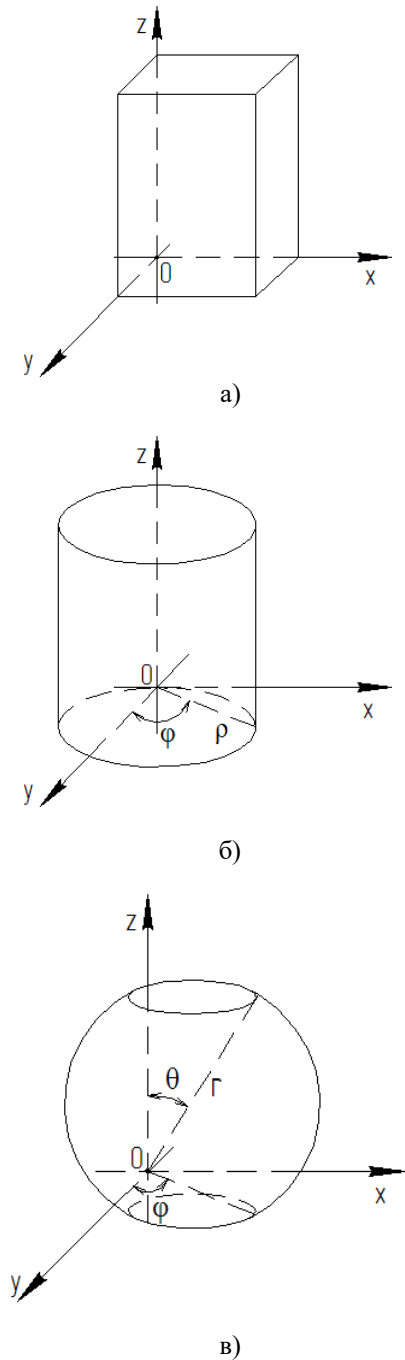


Рисунок 2 – Сепараційні канали поліградієнтних сепараторів геометричних класів: а) плоский *PL*; б) циліндричний *CL*; в) сферичний *SF*

Для вказаних геометричних класів можливі, зокрема, такі варіанти реплікації елементарних породжувальних структур S_0 у просторі каналу:

– геометричний клас плоский *PL* – реплікації f_{RX} , f_{RY} , f_{RZ} у напрямку координатних осей OX , OY , OZ відповідно;

– геометричний клас циліндричний *CL* – реплікації f_{RZ} та/або f_{Rp} у напрямку координат Z та/або p при фіксованих значеннях куту φ із діапазону $0 \leq \varphi \leq 2\pi$;

– геометричний клас сферичний *SF* – реплікація f_{Rr} у напрямку координати r при фіксованих значеннях кутових координат φ та Θ із діапазонів $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, $0 \leq \Theta \leq \pi$ відповідно.

Розглянемо задачу спрямованого пошуку структури матриці поліградієнтного магнітного сепаратора за заданою функцією синтезу F_S , яка визначається наступною сукупністю вихідних часткових вимог та обмежень.

1. На даному етапі досліджень обмежимося розглядом сепараційного каналу геометричного класу плоский *PL* (рис. 2,а).

2. Елементарна породжуюча моноструктура S_0 поліградієнтного середовища – пластина у формі прямокутного трикутника, прив'язана до прямокутної декартової системи координат і, відповідно, до стінок сепараційного каналу так, як показано на рис. 3.

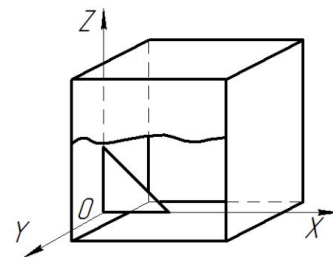


Рисунок 3 – Початкове положення елементарної породжувальної моноструктури S_0 у сепараційному каналі

3. Подача речовини (P) до робочого простору сепараційного каналу здійснюється у напрямку координатної осі OZ (верхня подача речовини).

4. У робочому просторі сепараційного каналу встановлена багатошарова матриця (M). Шари матриці розміщені паралельно площині XOZ , а чергування шарів відбувається у напрямку осі OY . Всі шари матриці ідентичні.

5. Накладаються обмеження L_g на використання генетичних операторів синтезу:

– не враховується генетичний оператор мутації f_M ;

– задача синтезу обмежується результатами генерації структур при коефіцієнтах реплікації $k_{ROx}=2$, $k_{ROy}=4$, $k_{ROz}=4$ по координатних осях OX , OY і OZ відповідно;

– оператор просторової інверсії f_I відповідає за зміну просторового розміщення реплікованих уздовж осі OX моноструктур S_0 .

6. На даному етапі пошуку виключаються з розгляду (вимога L_s):

– поліградієнтні структури вищих рівнів складності, зокрема, гібридні;

– не враховуються структури зі складними видами симетрії: гвинтовою (спіральною), осьювою (поворотною) і фрактальною (симетрією самоподібності).

7. Результати синтезу повинні включати інформацію про генетично допустиму різноманітність поліградієнтних середовищ, у тому числі й про потенційно можливі, ще відсутні на даний час технічної еволюції.

8. Отримана інформація повинна забезпечувати гарантовану повноту пошуку (Q_S).

З урахуванням зазначених вимог та обмежень, інтегральна функція F_S синтезу набуває наступного виду:

$$F_S = \{PL, P, M, S_0, L_s, L_g, Q_S\}. \quad (1)$$

Заданій сукупності ознак та обмежень (1) ставиться у відповідність наступна генетична модель (рис. 4), що визначає загальний порядок застосування операторів синтезу.

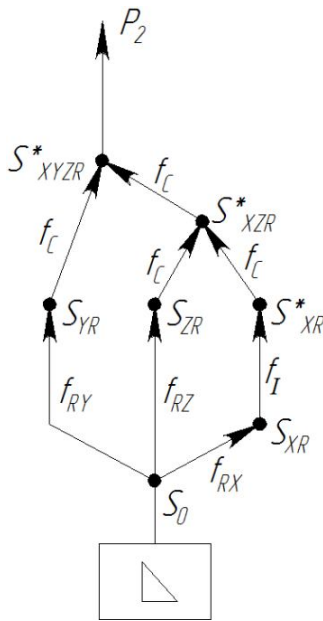


Рисунок 4 – Генетична модель структуроутворення поліградієнтної матриці, що відповідає заданій функції F_S

На рис. 4 прийняті наступні позначення: S_{XR}, S_{YR}, S_{ZR} – породжуючі структури, репліковані, відповідно, в напрямку осей OX, OY, OZ ; S^*_{XR} – реплікована в напрямку осі OX інверсна породжуюча структура; S^*_{XZR} – породжуюча структура шару поліградієнтної матриці, утворена в результаті поєднання реплікованих структур S^*_{XR} і S_{ZR} ; S^*_{XYZR} – породжуюча структура популяції P_2 реплікованих інверсних структур (рис. 1).

Приклади просторових композицій, синтезованих на основі породжуючих структур $S_{XR}, S_{YR}, S_{ZR}, S^*_{XR}$ показано на рис. 5.

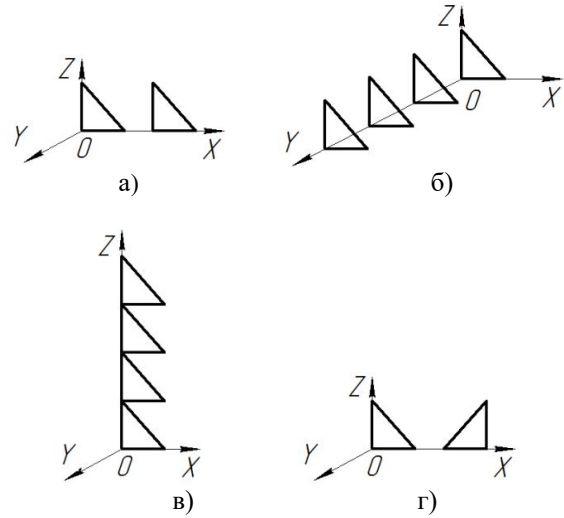


Рисунок 5 – Приклади просторових композицій, синтезованих на основі породжуючих структур: а) $S_{XR} (k_{ROx}=2)$; б) $S_{YR} (k_{ROy}=4)$; в) $S_{ZR} (k_{ROz}=4)$; г) $S^*_{XR} (k_{ROx}=2)$

Генетична модель (рис. 4) може бути описана наступною послідовністю перетворень:

$$f_R(S_0) \rightarrow (S_{XR}); \quad k_{ROx}=2$$

$$f_R(S_0) \rightarrow (S_{YR}); \quad k_{ROy}=4 \quad (2)$$

$$f_R(S_0) \rightarrow (S_{ZR}); \quad k_{ROz}=4$$

$$f_I(S_{XR}) \rightarrow (S^*_{XR}); \quad (3)$$

$$f_C(S^*_{XR}, S_{ZR}) \rightarrow S^*_{XZR}; \quad (4)$$

$$f_C(S^*_{XZR}, S_{YR}) \rightarrow S^*_{XYZR}. \quad (5)$$

Як відомо, при коефіцієнті реплікації $k_R \geq 2$ допускаються різні варіанти просторових компонувань (композицій, перестановок) структур, кількість яких зростає зі збільшенням значення k_R . Ця властивість носить системний характер, оскільки проявляється на будь-якому рівні структурної організації багатоеlementних електромеханічних структур. Властивість, пов'язана з наявністю безлічі варіантів просторового розміщення з однаковою кількістю однотипних елементів, називається ізомерією, а безлічі їх просторових композицій – просторовими ізомерами [11, 14].

Ізомерні композиції (S_1, S_2, \dots, S_n) формуються з урахуванням правил симетрії, тобто закономірної повторюваності фігур або частин самосиметричних фігур

$$f(S^*_{XYZR}) \rightarrow (S_1, S_2, \dots, S_n), \quad (6)$$

де f – оператор геометричних перетворень (перетворень симетрії); n – кількість ізомерних композицій.

Проявом симетрії поліградієнтних середовищ є періодичність просторового розподілу однакових елементарних структурних форм (моноструктур). Поліградієнтні середовища можна віднести до симетричних фігур, які підпадають під дію законів симетрії, що виявляються за допомогою відомих елементів симетрії [15]:

- центру інверсії – центральна симетрія;
- площині симетрії – дзеркальна симетрія;
- вектора перенесення – переносна симетрія або трансляція;
- площині ковзного відображення – ковзна симетрія.

Центр інверсії (\bar{I}^*) – особлива точка, що характеризується тим, що будь-яка проведена через неї пряма по обидві сторони від неї й на рівних відстанях зустрічає відповідні точки фігури.

Площина симетрії (m) – уявна площина, що ділить об'єкт на дві дзеркально рівні частини. Можуть мати місце вертикальна m_v і горизонтальна m_g площини симетрії.

Переносна симетрія або трансляція є поступальним переносом фігури паралельно самій собі на вектор T (період трансляції), що характеризує напрямок і величину перенесення.

Площина ковзного відображення P_t є композицією площин симетрії й паралельного їй перенесення (трансляції) T сукупності об'єктів.

Для кінцевих геометричних фігур існує строго обмежена кількість видів кінцевої симетрії [15, 16]. У табл. 1 надано результати синтезу просторових ізомерних композицій поліградієнтних середовищ. Для наочності в таблиці показаний тільки один шар поліградієнтного середовища матриці сепаратора, відповідний породжуючій структурі S^*_{XZR} на генетичній моделі (рис. 4).

Таким чином, з використанням перетворень симетрії отримана множина (S_1, S_2, \dots, S_n), що складається з $n=6$ ізомерних композицій поліградієнтного середовища.

Достовірність результатів синтезу поліградієнтних середовищ магнітних сепараторів підтверджена шляхом порівняння результатів патентно-інформаційного пошуку й результатів синтезу. Для цього було проведено патентно-інформаційний пошук, у результаті якого виявлено структурні представники магнітних сепараторів, поліградієнтні середовища яких можуть бути віднесені до ізомерних композицій S_3 (рис. 6,а,б) та S_4 (рис. 6,в).

Поліградієнтний магнітний сепаратор [17], зображений на рис. 6,а, містить матриці, розташовані в міжполюсному зазорі. Кожна матриця виконана дворядною з феромагнітних тіл трикутного перетину, розташованих паралельно один до одного в площині матриці. Феромагнітні тіла звернені однією

зі своїх поверхонь у сторону каналу для проходження пульпи. Простір між феромагнітними тілами заповнено немагнітним матеріалом.

Таблиця 1 – Результати синтезу просторових ізомерних композицій поліградієнтного середовища

Код	Геометрична модель ізомеру	Операція симетрії	Елементи симетрії
S_1		Дзеркальна симетрія	m_v
S_2		Дзеркальна симетрія з ковзанням	m_v, P_t
S_3		Дзеркальна симетрія	m_g, m_v
S_4		Дзеркальна симетрія з ковзанням	m_g, m_v, P_t
S_5		Центральна симетрія	(\bar{I}^*)
S_6		Центральна симетрія з ковзанням	$(\bar{I}^*), P_t$

На рис. 6,б показаний електромагнітний сепаратор [18], який включає камеру, електромагнітну систему з полюсами, поліградієнтне середовище, вико-

нану з пластин, прилеглих до стінок камери, і пластин, виконаних зигзагоподібними з розміщенням виступів пластин проти впадин протилежних пластин, при цьому зигзаги можуть мати трикутний або трапецієподібний перетин, а вершини зигзагів можуть бути виконані округленими.

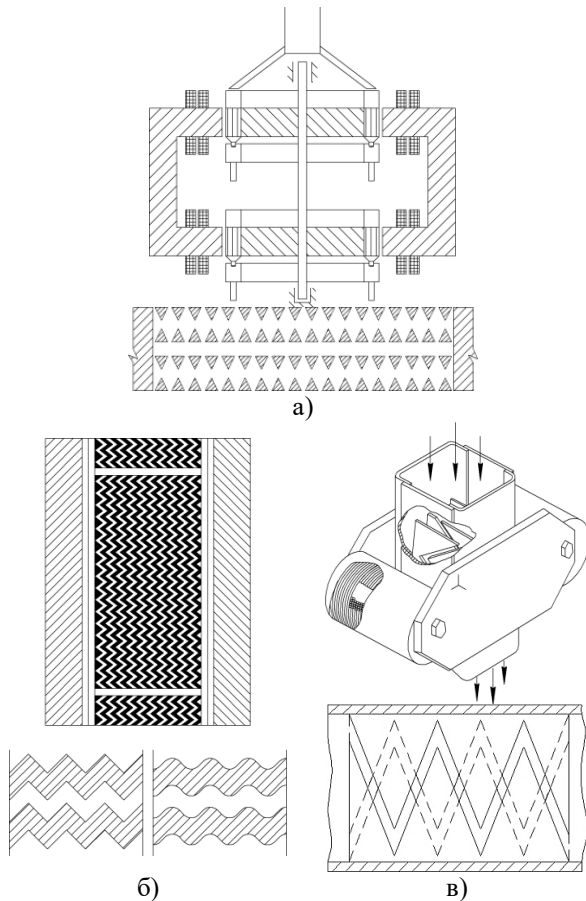


Рисунок 6 – Структурні представники магнітних сепараторів із поліградієнтним середовищем, що належать до ізомерних композицій:
а) S_3 [17], б) S_3 [18], в) S_4 [19]

Касета електромагнітного сепаратора [19], зображеного на рис. 6,в, розташована у просторі між полюсами з можливістю зворотно-поступального руху у вертикальній площині. До стінок касети зсередини закріплено кілька рядів похило встановлених паралельних феромагнітних пластин із трикутними виступами та впадинами, зверненими всередину касети. Суміжні ряди паралельних феромагнітних пластин касети встановлено із чергуванням трикутних виступів та впадин у протилежних напрямках.

За результатами генетичного моделювання на конструкцію електромагнітного сепаратора, зображеного на рис. 6,в, отриманий патент [19], ще три технічних рішення знаходяться у стадії патентування. Можливість спрямованого пошуку нових патентоспроможних структур поліградієнтних середовищ магнітних сепараторів може служити умовою адек-

ватності генетичної моделі (рис. 4) реальним процесом структуроутворення.

ВИСНОВКИ. Для заданої інтегральної функції F_S синтезу розроблена генетична модель структуроутворення поліградієнтного середовища, за допомогою якої встановлено, що структура генома поліградієнтного середовища, у функції елементарної одиниці якого прийнято пластину у формі прямокутного трикутника, надана шістьма породжувальними структурами $S_{XR}, S_{YR}, S_{ZR}, S^*_{XR}, S^*_{XZR}, S^*_{XYZR}$.

З використанням дзеркальної, переносної, центральної й ковзної операцій симетрії синтезовано шість ізомерних композицій поліградієнтного середовища, відповідні породжуючі структури S^*_{XYZR} .

У результаті патентно-інформаційного пошуку виявлено структурні представники магнітних сепараторів, поліградієнтні середовища яких можуть бути віднесені до ізомерних композицій S_3 та S_4 , що підтверджує достовірність процедури синтезу. За допомогою генетичного моделювання отримане нове технічне рішення, захищене охоронним документом, ще три технічних рішення знаходяться у стадії патентування.

У напрямку подальших досліджень буде проведено дослідження розподілу магнітного поля в робочих зонах синтезованих поліградієнтних середовищ із застосуванням сучасних програмних пакетів. Результати комп'ютерного моделювання будуть використані для вибору оптимальної конфігурації й геометричних параметрів пластин матриці сепаратора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загирняк М.В., Волканин Е.Е. Сепарация наночастиц по фракциям с использованием магнитной системы Фарадея // Известия вузов. Электромеханика. – 2014. – Вып. 4. – С. 30–34.
2. Moeser G.D., Roach K.A., Green W.H., Alan T. Hatton High-Gradient Magnetic Separation of Coated Magnetic Nanoparticles // American Institute of Chemical Engineers. – 2004. – Iss. 50. – PP. 2835–2848.
3. Кондратенко И.П., Некрасов А.В., Волканин Е.Е. Электротехническая система с составными стержнями для высокоградиентной магнитной сепарации // Электротехника і електромеханіка. – 2012. – Вып. 2. – С. 38–41.
4. Brauer J.R. Magnetic Nanoparticle Separation // Ansys advantage. – 2015. – Iss. 9 (1). – PP. 47–50.
5. Волканин Е.Е., Некрасов А.В., Оксанич, А.П. Определение баланса сил, действующих на наночастицу в электротехнической системе магнитной сепарации // Электротехника і електромеханіка. – 2012. – Вып. 2. – С. 28–31.
6. Luzheng Chen. High gradient magnetic separation in centrifugal field // Minerals Engineering. – 2015. – Iss. 78. – PP. 122–127.
7. Кузнецов Ю.Н., Шинкаренко В.Ф. Генетический подход к созданию сложных технических систем // Науковий журнал «Технологічні комплекси». – 2012. – Вып. 1, 2 (5, 6). – С. 21–29.

8. Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Нестыкайло О.С. Генетическое моделирование внутривидовой структуры электромеханических преобразователей энергии // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2004. – Вип. 4. – С. 42–46.

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

10. Zagirnyak M., Shvedchikova I., Miljavec D. Forming a genetic record of cylindrical magnetic separator structures // *Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review)*. – 2011. – Iss. 3. – PP. 220–223.

11. Zagirnyak M., Shvedchikova I., Tkach S. Automation design of multi-unit electromechanical structures of magnetic separators // *Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review)*. – 2014. – Iss. 12. – PP. 292–295.

12. Шведчикова І.А., Романченко Ю.А. Классификация полиградиентных магнитных сепараторов // *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. – 2014. – Вип. 19. – С. 64–76.

13. Шведчикова І.А., Луценко І.А., Романченко Ю.А. Исследование закономерностей структурообразования полиградиентных сред // *Восточно-*

европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Вып. 4/7 (76). – С. 62–67.

14. Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Лысак В.В., Махновецкая М.А. Структурная изомерия и ее моделирование в задачах генетического синтеза электромеханических структур // *Электротехника и электромеханика*. – 2009. – Вып. 1. – С. 33–36.

15. Шафрановский И.И., Плотников Л.М. Симметрия в геологии. – Л.: Недра, 1975. – 144 с.

16. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природы симметрии. – М.: Мысль, 1974. – 229 с.

17. А.с. СССР № 1502109. Магнитный сепаратор / Б.А. Кравец, Л.А. Ломовцев, Н.А. Стрелкин; заявл. 03.10.1986, опубл. 23.08.1989, Бюл. № 31.

18. А.с. СССР № 828949. Электромагнитный сепаратор / Жан Лафос; заявл. 25.03.1977, опубл. 07.05.1981, Бюл. № 17.

19. Патент України 103156 В03С 1/00. Электромагнітний сепаратор / І.О. Шведчикова, Ю.А. Романченко, заявл. 05.05.15; опубл. 10.12.15, Бюл. № 23.

GENETIC MODELING AND SYNTHESIS OF NEW STRUCTURES OF POLYGRADIENT MATRIX OF MAGNETIC SEPARATORS

I. Shvedchikova, Yu. Romanchenko

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

Purpose. The purpose of the work is development of polygradient media structuring genetic model and its use for directional search of new specimens of magnetic separators polygradient matrices. **Methodology.** We used a genetic fusion operators for simulation of polygradient media internal structure. Using the rules of symmetry we synthesized isomeric composition of polygradient media. **Results.** Using genetic fusion operator generalized genetic model of magnetic separators polygradient media structuring built, whereby defined level of genetic complexity. Determined that main genetic operator of polygradient media structuring is a replication operator. Rules for replicated elementary generating structures placement in space defined by geometric class (form) of separator separation channel and subordinated to principles of symmetry and isometrics. Symmetry is responsible for the order (rhythm, frequency). Isometrics defines spatial forms allowable options for implementation of this order (for a fixed number of elements). Integral function of polygradient media synthesis was determined taking into account the totality of outgoing requirements and restrictions. Genetic model, which defines the procedure for application of synthesis genetic operators, built. As media elementary generating element (monostructure) adopted the plate in form of a right triangle. Consider the rules and elements of symmetry, by which polygradient media isomeric composition synthesized. As a result of patent-information search defined structural representatives of magnetic separators, polygradient media of which can be attributed to synthesized isomeric compositions. Reliability of genetic model of polygradient media structuring is defined by comparing of results of patent-information search and synthesis results. **Originality.** For the first time for description of structural features and complexity levels of polygradient media used a genetic approach. Sharing of genetic synthesis operators and symmetry rules allowed provide directed search of magnetic separators polygradient media new patentable structures, which confirmed the adequacy of genetic models to real processes of structuring. **Practical value.** By using genetic modeling obtained a new technical solution protected with patents and three technical solutions are under patent. References 19, table 1, figures 6.

Key words: polygradient media, genetic model, genetic operator, synthesis.

REFERENCES

1. Zagirnjak, M.V. and Volkanin, E.E. (2014), "Separation of nanoparticles by fractions using Faraday magnetic system", *Izvestiya vuzov. Elektromehnika*, no. 4, pp. 30–34. (in Russian)

2. Moeser, G.D., Roach, K.A., Green, W.H. and Alan, T. (2004), "Hatton High-Gradient Magnetic Separation of Coated Magnetic Nanoparticles", *American*

Institute of Chemical Engineers, Vol. 50, pp. 2835–2848.

3. Kondratenko, I.P., Nekrasov, A.V. and Volkanin, E.E. (2012), "An electrical engineering system with compound bars for high-gradient magnetic separation", *Elektrotehnika i elektromehnika*, no. 2, pp. 38–41. (in Russian)

4. Brauer, J.R. (2015), "Magnetic Nanoparticle Separation", *Anslys Advantage*, Vol. 9, pp. 47–50.
5. Volkanin, E.E., Nekrasov, A.V. and Oksanich, A.P. (2012), "Determination of nanoparticle force balance in an electrical magnetic separation system", *Elektrotehnika i elektromehanika*, no. 2, pp. 28–31. (in Russian)
6. Luzheng, Chen (2015), "High gradient magnetic separation in centrifugal field", *Minerals Engineering*, Vol. 78, pp. 122–127.
7. Kuznetsov, Yu.N. and Shinkarenko, V.F. (2012), "The genetic approach to creating complex technical systems", *Naukoviy zhurnal «Tehnologichni kompleksy»*, Vol. 1, 2, no. 5, 6, pp. 21–29. (in Russian)
8. Shinkarenko V.F., Avgustinovich A.A. and Neslykaylo O.S. (2006), "Genetic modeling of intraspecific structure of electromechanical energy converters", *Elektrotehnika i elektromehanika*, no. 4, pp. 42–46. (in Russian)
9. Shynkarenko, V.F. and Shymanska, A.A. (2015), *Slovnnyk iz strukturnoy ta genetychnoy elektromehaniky* [Glossary of structural and genetic electromechanics], NTUU «KPI», Kiev. (in Ukrainian)
10. Zagirnyak, M., Shvedchikova, I. and Miljavec, D. (2011), "Forming a genetic record of cylindrical magnetic separator structures", *Przeglad elektrotechniczny (Electrical Review)*, Vol. 3, pp. 220–223.
11. Zagirnyak, M., Shvedchikova, I. and Tkach, S. (2014), "Automation design of multi-unit electromechanical structures of magnetic separators", *Przeglad elektrotechniczny (Electrical Review)*, Vol. 12, pp. 292–295.
12. Shvedchikova, I.A. and Romanchenko, Yu.A. (2014), "Polygradient magnetic separators classification", *Visnik Nacionalnogo Tehnichnogo Universitetu «KhPI»*, no. 19, pp. 64–76. (in Russian)
13. Shvedchikova, I.A., Lucenko, I.A. and Romanchenko, Yu.A. (2015), "Investigation of structure formation regularities of polygradient media", *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyh tehnologiy*, Vol. 4/7, no. 76, pp. 62–67. (in Russian)
14. Shinkarenko, V.F., Avgustinovich, A.A., Lysak, V.V. and Mahnoveckaya, M.A. (2009), "Structural isomers and its modeling in problems of genetic synthesis of electromechanical structures", *Elektrotehnika i elektromehanika*, no. 1, pp. 33–36. (in Russian)
15. Shafranovskiy, I.I. and Plotnikov, L.M. (1975), *Simmetriya v geologii* [Symmetry in geology], Nedra, Leningrad. (in Russian)
16. Urmancev, Ju. A. (1974), *Simmetriya prirody i priroda simmetrii* [The symmetry of nature and the nature of symmetry], Mysl, Moscow. (in Russian)
17. Kravets, B.A., Lomovtsev, L.A. and Strelkin, N.A. (1989), "Magnetic separator", *A.s. 1502109 SSSR*, *zayavl.* 03.10.1986, *opubl.* 23.08.1989, *Byul.* no. 31. (in Russian)
18. Lafos, Zh. (1981), "Electromagnetic separator", *A.s. 828949 SSSR*, *zayavl.* 25.03.1977, *opubl.* 07.05.1981, *Byul.* no. 17. (in Russian)
19. Shvedchikova, I.O. and Romanchenko, Yu.A. (2015), "Electromagnetic separator", *Patent Ukrainy 103156 V03S 1/00*, *zayavl.* 05.05.2015, *opubl.* 10.12.2015, *Byul.* no. 23. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 29.04.2016.