

УДК 548.3:669.018

## КОМПЛЕКСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФРАКТАЛЬНОГО НАНОРАЗМЕРНОГО КЛАССА ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР КОМПОЗИТОВ

**Иванов В.В.***Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,  
Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются возможные комплексные компоненты состояний кристаллического фрактального наноразмерного класса детерминистических модулярных структур композитов.

**Ключевые слова:** структурное состояние, кристалл, фрактал, наноструктура, композиционный материал

## COMPLEX COMPONENTS OF THE STATES OF CRYSTAL FRACTAL NANODIMENSIONAL CLASS FOR DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES OF COMPOSITES

**Ivanov V.V.***South-Russian state polytechnic university (Novocherkassk polytechnic institute) by name of M.I. Platov,  
Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru*

The possible complex components of the states of crystal fractal nano-dimensional class for deterministic modular structures of composites were discussed.

**Keywords:** structural state, crystal, fractal, nanostructure, compositional material

Квадратная матрица  $A$  третьего порядка вида

$$A^{(1D)} = \|a_{ij}\|_1^3 = \begin{vmatrix} \mathbf{r} & \mathbf{n}_r & \mathbf{f}_r \\ \mathbf{r}_n & \mathbf{n} & \mathbf{f}_n \\ \mathbf{r}_f & \mathbf{n}_f & \mathbf{f} \end{vmatrix}$$

описывает множество вероятных структурных 1D состояний возможных детерминистических модулярных структур композитов. Множество состоит из трех основных состояний ( $r \equiv r$ ,  $n \equiv n$ ,  $f \equiv f$ ) и трех пар из взаимодополняющих (сопряженных) комплексных состояний ( $r_n$  и  $n_r$ ,  $r_f$  и  $f_r$ ,  $n_f$  и  $f_n$ ). Матрица  $A$  вероятных структурных 1D состояний обладает следующими свойствами:

1 равенство сопряженной ( $A^*$ ) и транспонированной ( $A^T$ ) матриц:

$$A^* = A^T = \begin{vmatrix} \mathbf{r} & \mathbf{r}_n & \mathbf{r}_f \\ \mathbf{n}_r & \mathbf{n} & \mathbf{n}_f \\ \mathbf{f}_n & \mathbf{f}_r & \mathbf{f} \end{vmatrix}$$

2) равенство дважды сопряженной и дважды транспонированной матрицы – исходной матрице:

$$(A^T)^T = (A^*)^* = A$$

3) наличие частичного порядка соподчинения вида

$$\begin{pmatrix} \mathbf{r}(\mathbf{f}_r(\mathbf{n}_r)) \\ \mathbf{r}_n(\mathbf{f}_n(\mathbf{n})) \\ \mathbf{r}_f(\mathbf{f}(\mathbf{n}_f)) \end{pmatrix} \text{ или } \begin{pmatrix} \mathbf{r} \in \mathbf{f}_r \in \mathbf{n}_r \\ \mathbf{r}_n \in \mathbf{f}_n \in \mathbf{n} \\ \mathbf{r}_f \in \mathbf{f} \in \mathbf{n}_f \end{pmatrix}$$

В случае детерминистических модулярных структур в каждой ячейке структурированного 3D пространства состояния определяются возможными кристаллическими  $r$ , наноразмерными  $n$  и фрактальными  $f$  компонентами [1–10]. С учетом всех структурно совместимых сочетаний из трех компонент можно перечислить десять классов вероятных структурных состояний [1, 2]: 1) ( $n n n$ ), 2) ( $n n r$ ), 3) ( $n n f$ ), 4) ( $n f f$ ), 5) ( $r f n$ ), 6) ( $r r n$ ), 7) ( $r r f$ ), 8) ( $r f f$ ), 9) ( $f f f$ ) и 10) ( $r r r$ ). Класс ( $r f n$ ) – единственный класс возможных структурных состояний, представители которого включают в себя одновременно кристаллическую, фрактальную и наноразмерную компоненты. Возможные разложения данного состояния

$$(n r f) = (n n r) + (f f r),$$

$$(n r f) = (n r r) + (n f f),$$

$$(n r f) = (n n f) + (f r r),$$

$$(n r f) = (n n r) + (r r f) + (n f f),$$

$$(n r f) = (n r r) + (r f f) + (n n f),$$

$$(n r f) = (n n n) + (r r r) + (f f f)$$

позволяют рассматривать наряду с кристаллическими фазами квазифрактальные объекты, наночастицы и возможные промежуточные варианты между ними и могут служить аппроксимантами вероятных состояний на поверхности и в объеме композиционных материалов и покрытий.

Симметрия структур  $R_{\text{rn}}^3$  может описываться пространственными  $G^3$  слоевыми  $G^3_{2,2}$ , ленточными  $G^3_{2,1}$ , точечными слоевыми  $G^3_{2,0}$  группами [11].

Перечислим возможные виды состояний класса  $(r f n)$ , приведем соподчиненные  $(\in)$  и сопряженные им  $(*)$  состояния.

1)  $(r f n)$  – 3D фрактальная структура из упорядоченных нанообъектов,  $(r f n)^* = (r f n)$ ,  $(r f n) \in (n_r n_f n_n)$ ,

2)  $(r f n_r)$  – 3D фрактал из упорядоченных 1D-нанофрагментов структуры,  $(r f n_r)^* = (r f r_n)$ ,  $(r f n_r) \in (n_r n_f n_n)$ ,

3)  $(r f n_f)$  – 3D фрактал из упорядоченных 1D локальных фракталов,  $(r f n_f)^* = (r f f_n)$ ,  $(r f n_f) \in (n_r n_f n_n)$ ,

4)  $(r f_n n)$  – 3D фрактальный нанообъект из упорядоченных 1D нанообъектов,  $(r f_n n)^* = (r n_f n)$ ,  $(r f_n n) \in (n_r n n)$ ,

5)  $(r f_n n_r)$  – 3D фрактальный нанообъект из упорядоченных 1D-нанофрагментов структуры  $(r f_n n_r)^* = (r n_r r_n)$ ,  $(r f_n n_r) \in (n_r n n_r)$ ,

6)  $(r f_n n_f)$  – 3D фрактальный нанообъект из упорядоченных 1D локальных фракталов,  $(r f_n n_f)^* = (r f_n n_f)$ ,  $(r f_n n_f) \in (n_r n n_f)$ ,

7)  $(r f_r n)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и упорядоченных нанообъектов,  $(r f_r n)^* = (r r_f n)$ ,  $(r f_r n) \in (n_r n n)$ ,

8)  $(r f_r n_r)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и упорядоченных 1D-нанофрагментов структуры,  $(r f_r n_r)^* = (r r_f r_n)$ ,  $(r f_r n_r) \in (n_r n_r n_r)$ ,

9)  $(r f_r n_f)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и упорядоченных 1D локальных фракталов,  $(r f_r n_f)^* = (r r_f f_n)$ ,  $(r f_r n_f) \in (n_r n_f n_f)$ ,

10)  $(r_n f n)$  – 3D фрактальная структура из нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f n)^* = (n_r f n)$ ,  $(r_n f n) \in (n n n)$ ,

11)  $(r_n f n_r)$  – 3D фрактальная структура из 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве,  $(r_n f n_r)^* = (n_r f n_r)$ ,  $(r_n f n_r) \in (n n_r n_r)$ ,

12)  $(r_n f n_f)$  – 3D фрактальная структура из 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f n_f)^* = (n_r f f_n)$ ,  $(r_n f n_f) \in (n n_f n_f)$ ,

13)  $(r_n f_n n)$  – 3D фрактальный нанообъект из 1D нанообъектов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f_n n)^* = (n_n f_n n)$ ,  $(r_n f_n n) \in (n n n)$ ,

14)  $(r_n f_n n_r)$  – 3D фрактальный нанообъект из 1D-фрагментов структуры и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f_n n_r)^* = (n_n f_n r_n)$ ,  $(r_n f_n n_r) \in (n n n_r)$ ,

15)  $(r_n f_n n_f)$  – 3D фрактальный нанообъект из 1D локальных фракталов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f_n n_f)^* = (n_n f_n n_f)$ ,  $(r_n f_n n_f) \in (n n n_f)$ ,

16)  $(r_n f_r n)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов, нанообъектов

и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f_r n)^* = (n_r r_f n)$ ,  $(r_n f_r n) \in (n n_r n)$ ,

17)  $(r_n f_r n_r)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов, фрагментов структуры и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f_r n_r)^* = (n_r r_f r_n)$ ,  $(r_n f_r n_r) \in (n n_r n_r)$ ,

18)  $(r_n f_r n_f)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов, 1D локальных фракталов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов,  $(r_n f_r n_f)^* = (n_r r_f f_n)$ ,  $(r_n f_r n_f) \in (n n_r n_f)$ ,

19)  $(r_f f n)$  – 3D фрактальная структура из нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f n)^* = (f_f f n)$ ,  $(r_f f n) \in (n_f n n)$ ,

20)  $(r_f f n_r)$  – 3D фрактал из 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f n_r)^* = (f_f f r_n)$ ,  $(r_f f n_r) \in (n_f n_r n_r)$ ,

21)  $(r_f f n_f)$  – 3D фрактал из 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f n_f)^* = (f_f f f_n)$ ,  $(r_f f n_f) \in (n_f n_f n_f)$ ,

22)  $(r_f f_n n)$  – 3D фрактальный нанообъект из 1D нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_n n)^* = (f_f n_f n)$ ,  $(r_f f_n n) \in (n_f n n)$ ,

23)  $(r_f f_n n_r)$  – 3D фрактальный нанообъект из 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_n n_r)^* = (f_f n_f r_n)$ ,  $(r_f f_n n_r) \in (n_f n_r n_r)$ ,

24)  $(r_f f_n n_f)$  – 3D фрактальный нанообъект из 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_n n_f)^* = (f_f f_n n_f)$ ,  $(r_f f_n n_f) \in (n_f n n_f)$ ,

25)  $(r_f f_r n)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_r n)^* = (f_r r_f n)$ ,  $(r_f f_r n) \in (n_f n n)$ ,

26)  $(r_f f_r n_r)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_r n_r)^* = (f_r r_f r_n)$ ,  $(r_f f_r n_r) \in (n_f n_r n_r)$ ,

27)  $(r_f f_r n_f)$  – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_r n_f)^* = (f_r r_f f_n)$ ,  $(r_f f_r n_f) \in (n_f n_f n_f)$ .

Таким образом, 27 видов реализации состояний класса  $(r f n)$  включают в себя все 10 видов соподчиненных им состояний наноразмерного класса  $(n n n)$  и имеют сопряженные с ними разновидности состояний из всех остальных девяти классов.

Условный размерный параметр  $D$  для каждого структурного состояния может быть рассчитан по одному из его возможных разложений следующим образом:

$$D = d_r D(r) + d_f D(f) + d_n D(n),$$

где  $d_r$ ,  $d_f$  и  $d_n$  – количества соответствующих компонент одного сорта, условный размерный параметр для кристаллической компоненты  $D(r) = 1$ , для фрактальной компоненты он полностью совпадает с фрактальной размерностью:

$$D(f) = \text{Dim}R_f = \text{Dim}(\text{Gen}R_f) < 1,$$

для наноразмерной компоненты

$$D(n) = (\langle n \rangle / n_o) < 1,$$

если средний размер нанобъекта  $\langle n \rangle < n_o = 100$  нм и  $D(n) = 1$ , если  $\langle n \rangle \geq n_o$ .

Пример. Определим размерный параметр для 27-ой разновидности состояния:  $(r_f f_r n_r)$  – 3D структуры из 1D детерминистических фракталов и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону. Сопряженным с ним состоянием является состояние  $(r_f f_r f_n)$ , представляющее собой 3D структуру из 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанобъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону. С учетом разложения  $(r_f f_r f_n) = 1/6 [2(r r) + 3(f f f) + (n n n)]$  окончательно получим

$$D = 1/6 [6 + \text{Dim}R_{\text{фф}}^1 + \text{Dim}R_{\text{фф}}^2 + \text{Dim}R_{\text{фф}}^3 + 3(\langle n \rangle / n_o)] < 3.$$

Таким образом, для любого структурного состояния класса  $(r f n)$ , включающего только одну кристаллическую компоненту, значение условного размерного параметра  $D$  всегда будет меньше 3.

Соподчиненное состояние  $(n f_r n_r)$  представляет собой 3D-нанобъект из 2D локальных фракталов (фрактальных нанобъектов).

Ранее представления о возможном влиянии комплексного состояния композитов, обусловленного как кристаллическими фазами, так и распределенными определенным образом наночастицами некоторых из этих фаз, а также квазифрактальными ха-

рактеристиками конфигураций межфазных границ, были использованы при целенаправленном поиске и интерпретации трибологических свойств поверхности композиционных материалов и покрытий на основе систем Ni-P и Ni-B [12–20].

#### Список литературы

1. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 11. – С. 61–65.
2. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 9 – С. 89–93.
3. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 7-1. – С. 26–28.
4. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2014. – № 4. – С. 105–108.
5. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 29–31.
6. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 8. – С. 136–137.
7. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 8. – С. 134–135.
8. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 8. – С. 129–130.
9. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10(3). – С. 493–494.
10. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 7-1. – С. 35–37.
11. Заморзаев А.М. Теория простой и кратной антисимметрии. Кишинев: Штиинца. – 1976. – 283 С.
12. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. – 112 С.
13. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 132 с.
14. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Иванов А.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии. – 2006. – Т. 79. – Вып.4. – С. 619–621.
15. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В., и др. // Журн. прикладной химии. – 2008. – Т. 81. – Вып. 12. – С. 2059–2061.
16. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 797–802.
17. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 3. – С. 54–57.
18. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 5. – С. 47–50.
19. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 8-1. – С. 70–71.
20. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 8-1. – С. 72–73.