

УДК 548.3:669.018

## ВОЗМОЖНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЙ (R R F) И (R F F) КЛАССОВ 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 и кристаллического фрактального гибридного классов детерминистических модулярных структур композитов.

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

## POSSIBLE COMPLEX COMPONENTS OF THE STATES OF THE BOTH (R R F) AND (R F F) CLASSES FOR DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES OF COMPOSITES

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

The possible complex components of the states of crystal fractal and crystal fractal hybridic class for deterministic modular structures of composites were discussed.

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

Состояния детерминистических модулярных структур определяются возможными кристаллическими  $r$ , наноразмерными  $n$  и фрактальными  $f$  компонентами [1 – 10]. Квадратная матрица  $A$  третьего порядка вида, описывающая множество вероятных структурных 1D состояний детерминистических модулярных структур композитов, включает три основные состояния ( $r_r \equiv r$ ,  $n_n \equiv n \equiv f_f$  &  $f$ ) и три пары из сопряженных состояний ( $r_n$  и  $n_r$ ,  $r_f$  и  $f_r$ ,  $n_f$  и  $f_n$ ):

$$A^{(1D)} = \left\| a_{ij} \right\|_1^3 = \left\| \begin{array}{ccc} r & n_r & f_r \\ r_n & n & f_n \\ r_f & n_f & f \end{array} \right\|.$$

Данная матрица  $A$  обладает следующими свойствами: 1) равенство сопряженной и транспонированной матриц, т.е.  $A^* = AT$ , 2) наличие частичного порядка соподчинения вида  $r \in f_r \in n_r$ ,  $r_n \in f_n \in n$  и  $r_f \in f \in n_f$ .

Из десяти классов вероятных структурных состояний [1, 2] только два класса ( $(r r f) = (f r r) = (r f r)$  и  $(r f f) = (f r f) = (f f r)$ ) характеризуют возможные структурные состояния, представители которых включают в себя одновременно кристаллическую и фрактальную компоненты. Возможные разложения данных состояний  $3(f f r) = 2(f f f) + (r r r)$ ,  $3(f r r) = (f f f) + 2(r r r)$  и  $(f f r) + (f r r) = (f f f) + (r r r)$  позволяют рассматривать наряду с кристаллическими фазами фрактальные структуры и могут

служить аппроксимантами вероятных состояний на поверхности композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами, а также вблизи поверхности в зоне трения и износа.

Симметрия структур  $Rr_{ff}^3$  и  $Rr_f^3$  может описываться пространственными  $G_3^3$ , слоевыми  $G_2^3$ , ленточными  $G_{2,1}^3$  или точечными слоевыми  $G_{2,0}^3$  группами [11]. Перечислим возможные виды состояний класса  $(r r f)$  и  $(r f f)$ , приведем соподчиненные ( $\in$ ) и сопряженные им (\*) состояния.

### Класс кристаллический фрактальный (r r f):

1)  $(r r f)$  – 3D-структура из упорядоченных в 2D-пространстве 1D фракталов,  $(r r f)^* = (r r f)$ ,  $(r r f) \in (n_r n_f n_r)$ ,

2)  $(r r f_r)$  – 3D-структура из упорядоченных в 2D-пространстве 1D детерминистических фракталов,  $(r r f_r)^* = (r r r_f)$ ,  $(r r f_r) \in (n_r n_f n_r)$ ,

3)  $(r r f_n)$  – 3D-структура из упорядоченных в 2D-пространстве 1D фрактальных нанообъектов,  $(r r f_n)^* = (r r n_f)$ ,  $(r r f_n) \in (n_r n_f n_r)$ ,

4)  $(r r_n f)$  – 3D-структура из слоев 1D фракталов и 1D нанофрагментов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r r_n f)^* = (r n_f f)$ ,  $(r r_n f) \in (n_r n_f n_r)$ ,

5)  $(r r_n f_r)$  – 3D-структура из слоев 1D детерминистических фракталов и 1D нанофрагментов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r r_n f_r)^* = (r n_f r_f)$ ,  $(r r_n f_r) \in (n_r n_f n_r)$ ,

6)  $(r r_n f_n)$  – 3D-структура из слоев 1D фрактальных нанообъектов и 1D нанофраг-

ментов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r_n r_n f_n)^* = (r_n r_n n_p)$ ,  $(r_n r_n f_n) \in (n_r n_n)$ ,

7)  $(r_r r_f f)$  – 3D-структура из 2D фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r_r r_f f)^* = (r_r f_f)$ ,  $(r_r r_f f) \in (n_r n_f n_p)$ ,

8)  $(r_r r_f f_r)$  – 3D-структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r_r r_f f_r)^* = (r_r r_f f_r)$ ,  $(r_r r_f f_r) \in (n_r n_f n_p)$ ,

9)  $(r_r r_f f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r_r r_f f_n)^* = (r_r f_r n_p)$ ,  $(r_r r_f f_n) \in (n_r n_f n_p)$ ,

10)  $(r_n r_n f)$  – 3D-структура из 2D нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону,  $(r_n r_n f)^* = (n_r n_r f)$ ,  $(r_n r_n f) \in (n_n n_p)$ ,

11)  $(r_n r_n f_r)$  – 3D-структура из 2D нанообъектов, упорядоченных по закону детерминистических фракталов,  $(r_n r_n f_r)^* = (n_r n_r r_p)$ ,  $(r_n r_n f_r) \in (n_n n_p)$ ,

12)  $(r_n r_n f_n)$  – 3D-структура из 2D нанообъектов, упорядоченных по закону фрактальных нанообъектов,  $(r_n r_n f_n)^* = (n_r n_r n_p)$ ,  $(r_n r_n f_n) \in (n_n n_p)$ ,

13)  $(r_n r_f f)$  – 3D-структура из 2D фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве нанофрагментов,  $(r_n r_f f)^* = (n_r f_r f)$ ,  $(r_n r_f f) \in (n_n n_f n_p)$ ,

14)  $(r_n r_f f_r)$  – 3D-структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве нанофрагментов по фрактальному закону,  $(r_n r_f f_r)^* = (n_r r_f r_p)$ ,  $(r_n r_f f_r) \in (n_n n_f n_p)$ ,

15)  $(r_n r_f f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве нанофрагментов по фрактальному закону,  $(r_n r_f f_n)^* = (n_r f_r n_p)$ ,  $(r_n r_f f_n) \in (n_n n_f n_p)$ ,

16)  $(r_f r_f f)$  – 3D-структура из 3D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f r_f f)^* = (f_f f_f)$ ,  $(r_f r_f f) \in (n_f n_f n_p)$ ,

17)  $(r_f r_f f_r)$  – 3D-структура из 3D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по закону детерминистических фракталов,  $(r_f r_f f_r)^* = (f_f f_r r_p)$ ,  $(r_f r_f f_r) \in (n_f n_f n_p)$ ,

18)  $(r_f r_f f_n)$  – 3D-структура из 3D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по закону фрактальных нанообъектов,  $(r_f r_f f_n)^* = (f_f f_r n_p)$ ,  $(r_f r_f f_n) \in (n_f n_f n_p)$ .

**Класс кристаллический фрактальный гибридный (r f f):**

1)  $(r f f)$  – 3D-структура из упорядоченных 2D гибридных фракталов,  $(r f f)^* = (r f f)$ ,  $(r f f) \in (n_r n_f n_p)$ ,

2)  $(r f f_r)$  – 3D-структура из упорядоченных 2D детерминистических фракталов,  $(r f f_r)^* = (r f r_p)$ ,  $(r f f_r) \in (n_r n_f n_p)$ ,

3)  $(r f f_n)$  – 3D-структура из упорядоченных 2D фрактальных нанообъектов,  $(r f f_n)^* = (r f n_p)$ ,  $(r f f_n) \in (n_r n_f n_p)$ ,

4)  $(r_f f_r f)$  – 3D-структура из упорядоченных 2D детерминистических фракталов,  $(r_f f_r f)^* = (r_f r_r r_p)$ ,  $(r_f f_r f) \in (n_f n_r n_p)$ ,

5)  $(r_f f_r f_n)$  – 3D-структура из упорядоченных 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов,  $(r_f f_r f_n)^* = (r_f r_r n_p)$ ,  $(r_f f_r f_n) \in (n_f n_r n_p)$ ,

6)  $(r_n f_n f_n)$  – 3D-структура из упорядоченных 2D фрактальных нанообъектов,  $(r_n f_n f_n)^* = (r_n n_f n_p)$ ,  $(r_n f_n f_n) \in (n_n n_p)$ ,

7)  $(r_n f f)$  – 3D-структура из 2D гибридных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве нанофрагментов,  $(r_n f f)^* = (n_r f f)$ ,  $(r_n f f) \in (n_n n_f n_p)$ ,

8)  $(r_n f f_r)$  – 3D-структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве нанофрагментов,  $(r_n f f_r)^* = (n_r f r_p)$ ,  $(r_n f f_r) \in (n_n n_f n_p)$ ,

9)  $(r_n f f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве нанофрагментов,  $(r_n f f_n)^* = (n_r f n_p)$ ,  $(r_n f f_n) \in (n_n n_f n_p)$ ,

10)  $(r_n f_r f_r)$  – 3D-структура из 2D детерминистического фрактала, упорядоченного в 1D-пространстве,  $(r_n f_r f_r)^* = (n_r r_r r_p)$ ,  $(r_n f_r f_r) \in (n_n n_r n_p)$ ,

11)  $(r_n f_r f_n)$  – 3D-структура из 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r_n f_r f_n)^* = (n_r r_r n_p)$ ,  $(r_n f_r f_n) \in (n_n n_r n_p)$ ,

12)  $(r_n f_n f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве,  $(r_n f_n f_n)^* = (n_r n_f n_p)$ ,  $(r_n f_n f_n) \in (n_n n_p)$ ,

13)  $(r_f f f)$  – 3D-структура из 2D гибридных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f f)^* = (f_f f_f)$ ,  $(r_f f f) \in (n_f n_f n_p)$ ,

14)  $(r_f f f_r)$  – 3D-структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f f_r)^* = (f_f f_r r_p)$ ,  $(r_f f f_r) \in (n_f n_f n_p)$ ,

15)  $(r_f f f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f f_n)^* = (f_f f_n)$ ,  $(r_f f f_n) \in (n_f n_f n_p)$ ,

16)  $(r_f f_r f_r)$  – 3D-структура из 2D детерминистического фрактала, упорядоченного в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_r f_r)^* = (f_r r_r r_p)$ ,  $(r_f f_r f_r) \in (n_f n_r n_p)$ ,

17)  $(r_f f_r f_n)$  – 3D-структура из 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_r f_n)^* = (f_r r_r n_p)$ ,  $(r_f f_r f_n) \in (n_f n_r n_p)$ ,

18)  $(r_f f_n f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанобъектов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону,  $(r_f f_n f_n)^* = (f_r n_r n_r)$ ,  $(r_f f_n f_n) \in (n_r n n)$ .

Таким образом, 36 видов реализации состояний класса  $(r r f)$  и  $(r f f)$  включают в себя все 10 видов соподчиненных им состояний наноразмерного класса  $(n n n)$  и имеют сопряженные с ними разновидности состояний всех остальных восьми классов.

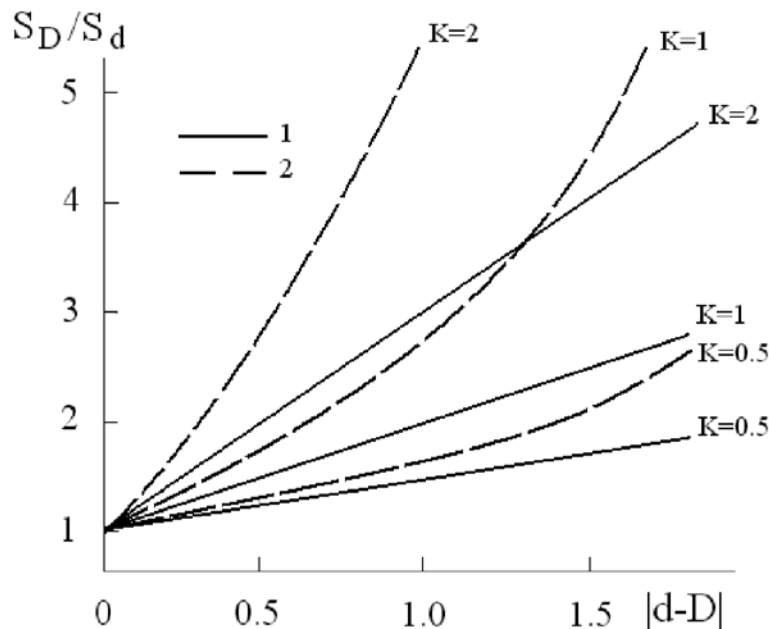
Условный размерный параметр  $D$  для каждого структурного состояния может быть рассчитан по одному из его возможных разложений следующим образом:  $D = dr D(r) + df D(f) + dn D(n)$ , где  $dr$ ,  $df$  и  $dn$  – количества соответствующих компонент одного сорта, условный размерный параметр для кристаллической компоненты  $D(r) = 1$ , для фрактальной размерности:  $D(f) = \text{Dim}R_f = \text{Dim}(\text{Gen}R_f) < 1$ , для наноразмерной компоненты  $D(n) = \langle n \rangle / n_0 < 1$ , если средний размер нанобъекта  $\langle n \rangle < n_0$  и  $D(n) = 1$ , если  $\langle n \rangle \geq n_0 = 100$  нм.

Пример определения размерного параметра. 18-я разновидность состояния  $(r_f f_n f_n)$  – 3D-структура из 2D фрактальных нанобъектов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону. Сопряженным с ним состоянием является состояние  $(f_r n_f n_f)$ , представляющее собой

3D-структуру из 1D детерминистических фракталов и 2D фрактальных нанобъектов. С учетом разложения  $(r_f f_n f_n) = 1/6 [(r r r) + 3(f f f) + 2(n n n)]$  окончательно получим

$$D = 1/6 [3 + \text{DimGen}R_{\text{ff}}^{(1)} + \text{DimGen}R_{\text{ff}}^{(2)} + \text{DimGen}R_{\text{ff}}^{(3)} + 6(\langle n \rangle / n_0)] < 3.$$

Предположим, что характер функционального влияния на чувствительные к особенностям структурной организации свойства систем может определяться для  $i$ -го структурного состояния зависимостями типа  $S_i(d-D_i)$ . Тогда на свойство  $SD$  влияет отклонение условного размерного параметра  $D$  от мерности пространства  $d$ , т.е. величина  $|d-D|$ . Формально можно рассматривать два вида зависимостей:  $S_D = S_d(1 + K|d-D|)$  и  $\ln(S_D/S_d) = K|d-D|$ , в которых коэффициент пропорциональности  $K$  обусловлен как характеристиками структурного состояния, так и характеристиками пространства, в котором существует система с данным состоянием. При расчете размерных параметров структурных состояний для отдельных компонент использовали следующие условные значения:  $D(r) = 1$ ,  $D(f_1) = D(f_2) = D(f_3) = 0,5$ ,  $D(n_1) = D(n_2) = 0,1$ . Вторая зависимость от размерного параметра – экспоненциальная  $SD = S_d \exp(K|d-D|)$  является более сильной по сравнению с первой (рисунок).



Влияние условного размерного параметра  $D$  структурного состояния детерминистических модулярных структур на свойства систем по зависимостям вида  $SD = S_d(1 + K|d-D|)$  (1) и  $SD = S_d \exp(K|d-D|)$  (2)

Ранее представления о возможном влиянии комплексного состояния композитов, обусловленного как кристаллическими фазами, распределенными определенным образом наночастицами некоторых из этих фаз, а также квазифрактальными характеристиками 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 [12–18].

#### 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.