

УДК 548.3:669.018

**ВОЗМОЖНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЙ  
НАНОРАЗМЕРНОГО (NNN) КЛАССА ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ  
МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР НАНОКОМПОЗИТОВ**

**Дерлугян П.Д., Иванова И.В., Иванов В.В., Шишка В.Г.**

*ФГУП ОКБ «ОРИОН», Южно-Российский государственный политехнический университет  
(НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются возможные комплексные компоненты состояний наноразмерного (n n n) класса детерминистических модулярных структур нанокompозитов.

**Ключевые слова:** структурное состояние, наноструктура, наночастица, композиционный материал

**POSSIBLE COMPLEX COMPONENTS OF THE STATES OF THE  
NANODIMENSIONAL (NNN) CLASS FOR DETERMINISTIC MODULAR  
STRUCTURES OF NANOCOMPOSITES**

**Derlugian P.D., Ivanova I.V., Ivanov V.V., Shishka V.G.**

*FGUE SDTU «ORION», Platov South-Russian state polytechnic university  
(Novocherkassk polytechnic institute), Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru*

The possible complex components of the states of nanodimensional (n n n) class for deterministic modular structures of nanocomposites were discussed.

**Keywords:** structural state, nanostructure, nanoparticle, compositional material

В случае фазово-разупорядоченного состояния ультрадисперсных компонентов системы может проявляться эффект синергизма – отклонение свойства материала от величины, которая может быть получена по аддитивной схеме с учетом индивидуальных характеристик фаз [1–4]. В соответствии с моделью «концентрационной волны» [4] трибологические свойства композитов определяются размерным и наноструктурным факторами. Экспериментально установлено [5–17], что для композитов разного фазового состава наноструктурный параметр принимает значения в интервале от 0,03 до 0,17 и характеризует объемную долю наночастиц фаз твердых компонент трибосопряженных поверхностей.

Будем считать, что в общем случае состояния детерминистических модулярных структур определяются возможными кристаллическими  $r$ , наноразмерными  $n$  и фрактальными  $f$  компонентами. Множество вероятных структурных 1D состояний детерминистических модулярных структур композитов включает три основные состояния ( $r_r \equiv r$ ,  $n_n \equiv n$ ,  $f_f \equiv f$ ) и три пары из сопряженных состояний ( $r_n$  и  $n_r$ ,  $r_f$  и  $f_r$ ,  $n_f$  и  $f_n$ ). Возможные пространственные компоненты структурных состояний поверхности проанализированы в работе [18]. Сформулированы принципы формирования возможных

структурных состояний из наноразмерных компонент с учетом свойств множества соответствующих нанообъектов [19]. Проанализированы размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих наноразмерную компоненту, и их влияние на свойства системы [20, 21].

Из десяти классов вероятных структурных состояний класс (n n n) характеризует возможные структурные состояния, включающие в себя в основном только наноразмерную компоненту.

Симметрия структур  $R_{nnn}^3$  может описываться пространственными  $G_3^3$ , слоевыми  $G_3^2$ , стержневыми  $G_3^1$ , точечными  $G_0^3$  группами [22, 23]. Перечислим возможные виды состояний наноразмерного класса (n n n) и приведем сопряженные им (\*) состояния.

1) (n n n) – 3D-наночастица, (n n n)\* = (n n n),

2) (n n  $n_r$ ) – 3D-нанообъект из 1D-фрагмента структуры, (n n  $n_r$ )\* = (n  $n_r$  n),

3) (n n  $n_f$ ) – 3D-нанообъект из 1D локального фрактала, (n n  $n_f$ )\* = (n n  $f_n$ ),

4) ( $n_r$   $n_r$ ) – 3D- нанообъект из 2D нанофрагментов структуры, ( $n_r$   $n_r$ )\* = ( $n_r$   $n_r$  n),

5) ( $n_r$   $n_f$ ) – 3D-нанообъект из 1D-фрагмента структуры и 1D локального фрактала, ( $n_r$   $n_f$ )\* = ( $n_r$   $f_n$ ),

6) ( $n_f$   $n_f$ ) – 3D-нанообъект из 2D локальных фракталов, ( $n_f$   $n_f$ )\* = ( $n_f$   $f_n$ ).

7)  $(n_r n_r n_r)$  – 3D-нанообъект из 3D-нанофрагментов структуры,  $(n_r n_r n_r)^* = (r_n r_n)$ ,

8)  $(n_r n_r n_f)$  – 3D-нанообъект из 2D-нанофрагмента структуры и 1D локального фрактала,  $(n_r n_r n_f)^* = (r_n r_n f_n)$ ,

9)  $(n_r n_f n_f)$  – 3D-нанообъект из 1D-нанофрагмента структуры и 2D локального фрактала,  $(n_r n_f n_f)^* = (r_n f_n f_n)$ .

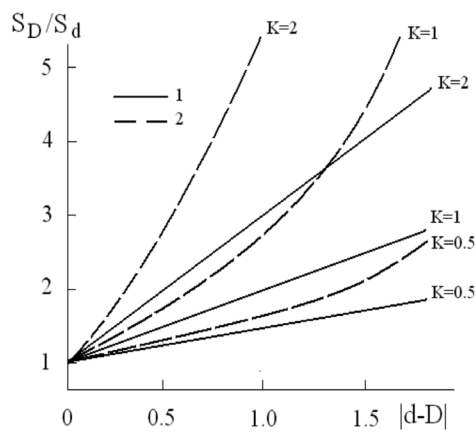
10)  $(n_f n_f n_f)$  – 3D локальный фрактал,  $(n_f n_f n_f)^* = (f_n f_n f_n)$ .

Условный размерный параметр  $D$  для каждого структурного состояния может быть представлен 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  $D(n) = \langle n \rangle / n_0 < 1$ , если средний размер нанообъекта  $\langle n \rangle < n_0 = 100$  нм и  $D(n) = 1$ , если  $\langle n \rangle \geq n_0$ .

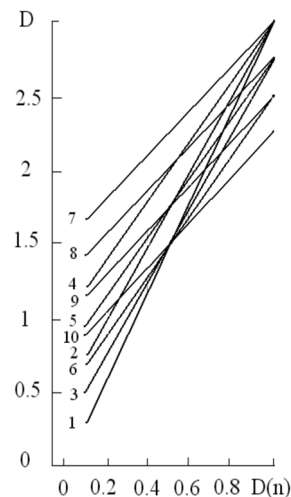
Пример. Определим размерный параметр для состояния  $(n_r n_f n_f)$ , характеризующего 3D-нанообъект из 1D-нанофрагмента структуры и 2D локального фрактала. Сопряженным с ним является состояние  $(r_n f_n f_n)$ , представляющее собой 3D структуру из 1D нанофрагмента структуры и 2D локального фрактала. С учетом разложения  $(n_r n_f n_f) = 1/6 [3(n n n) + (r r r) + 2(f f f)]$  окон-

чательно получим  $D = 1/6 [9\langle n \rangle / n_0 + 3 + \text{DimGen}R_{\text{фф}}^1 + \text{DimGen}R_{\text{фф}}^2]$ . Отметим, что для сопряженного структурного состояния  $(n_r n_f n_f)^* = (r_n f_n f_n)$  размерный параметр идентичен.

Предположим, что если компоненты структурных состояний – пространственные, то на свойство  $S_D$  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  $\ln(S_D/S_d) = K|d-D|$ , где 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:  $D(r) = 1, D(f_1) = D(f_2) = D(f_3) = 0,5, D(n_1) = D(n_2) = D(n_3) = 0,1$ . Вторая зависимость от размерного параметра – экспоненциальная  $S_D = S_d \exp(K|d-D|)$  и является более сильной по сравнению с первой (рисунк, а). На величину  $|d-D|$  существенно влияют значения компонент  $D(f)$  и  $D(n_1)$ . В частности, влияние величины наноразмерной компоненты  $D(n)$  на условный размерный параметр  $D$  для каждого из десяти структурных состояний класса  $(n n n)$  показано на рисунке, б.



а)



б)

Влияние условного размерного параметра  $D$  структурного состояния детерминистических модулярных структур на свойства систем по зависимостям вида  $S_D = S_d(1 + K|d-D|)$  (а-1) и  $S_D = S_d \exp(K|d-D|)$  (а-2). Влияние величины наноразмерной компоненты  $D(n)$  на условный размерный параметр  $D$  десяти структурных состояний класса  $(n n n)$  (б)

Представления о возможном влиянии комплексного состояния композитов, обусловленного как кристаллическими фазами, так и распределенными определенным образом наночастицами некоторых из этих фаз были использованы при целенаправленном поиске и интерпретации трибологических свойств поверхности композиционных материалов и покрытий на основе жидкого стекла [10–12], систем Ni-P [1-4, 13-17] и Ni-B [5–9]. Основные характеристики некоторых вероятных нанообъектов на поверхности указанных выше нанокompозитов, обладающих антифрикционными свойствами, представлены в работах [24–36].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 3. – С. 113–115.
3. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 4. – С. 116–118.
4. 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.
5. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Иванов А.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2006. – Т.79. – Вып.4. – С. 619–621.
6. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В., и др. // Журн. прикладной химии, 2008. – Т.81. – Вып. 12. – С. 2059–2061.
7. Балакай В.И., Сметанкин Г.П., Иванов В.В., Балакай И.В. // Вестник ВЭЛНИИ, 2009. – Вып.1 (57). – С. 32–41.
8. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 797–802.
9. Балакай В. И., Сметанкин Г.П., Иванов В.В., Мурзенко К.В. // Вестник ВЭЛНИИ, 2013. – Вып.2 (66). – С. 121–128.
10. Иванов В.В., Башкиров О.М., Марченко С.И. и др. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – Спецвыпуск. Композиционные материалы. – 2005. – С. 15–17.
11. Иванов В.В., Марченко С.И. // Научная мысль Кавказа. – Спецвыпуск, 2006. – С. 87–89.
12. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 84–87.
13. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 5. – С. 72–75.
14. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 6. – С. 79–82.
15. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 3. – С. 54–57.
16. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 5. – С. 47–50.
17. Щербаков И.Н., Попов С.В. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2014. – № 3(22). – Часть 2. – С. 21–22.
18. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 126–128.
19. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 96–99.
20. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 121–123.
21. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 124–125.
22. Заморзаев А.М. Теория простой и кратной антисимметрии. – Кишинев: Штиинца. 1976. – 283 с.
23. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 93–95.
24. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 8-1. – С. 65–66.
25. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 8-1. – С. 70–71.
26. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. – 2013. – № 8-1. – С. 72–73.
27. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 4. – С. 26–29.
28. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 4. – С. 30–33.
29. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 21–24.
30. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 25–28.
31. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 7. – С. 82–84.
32. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 7. – С. 85–87.
33. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. – 2013. – № 8. – С. 131–133.
34. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10(3). – С. 493.
35. Иванов В.В. // Междунар. журнал экспериментального образования, 2014. – № 4. – Part 2. – С. 58–59.
36. Иванов В.В. // Междунар. журнал экспериментального образования, 2014. – № 4. – Part 2. – С. 59–60.