

УДК 548.1

«ГИПЕРПРОСТРАНСТВЕННОЕ» ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ В ОБЪЕМЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Иванов В.В.

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

Обсуждается возможное «гиперпространственное» представление структурных состояний объема $[(r\ r\ r), (n\ n\ n), (f\ f\ f)_{3D\ comp}, (f\ f\ f)_{size}^*, ((r\ r\ r)_f + (n\ n\ n)_f)_{site}]$ композиционного материала для анализа величины эффективного размерного параметра. Представление включает символичные описания структурных состояний кристаллической $(r\ r\ r)$ и наноразмерной $(n\ n\ n)$ компонент, вероятных квазифрактальных конфигураций межфазных границ $(f\ f\ f)_{3D\ comp}$, квазифрактальных size-распределений $(f\ f\ f)_{size}^*$ и site-распределений $((r\ r\ r)_f + (n\ n\ n)_f)_{site}$ элементов в объеме композита. Предполагается, что некоторые из проанализированных вариантов комплексных состояний могут быть результатом реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния композиционных материалов и использованы при оценке величины синергического эффекта проявления антифрикционных свойств компонентами композита при трении и износе.

Ключевые слова: структурные состояния, композиционные материалы, кристаллическая и наноразмерная компоненты, квазифрактальные конфигурации межфазных границ, site-распределения фаз, size-распределения, фазово-разупорядоченное состояние

«HYPERSPATIAL» REPRESENTATION OF THE POSSIBLE VOLUME STRUCTURAL STATES OF A COMPOSITE MATERIAL

Ivanov V.V.

Platov South-Russian state polytechnic university (NPI), J-SC «SDTU «ORION», Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The possible hyper-spatial representation to the volume structural states $[(r\ r\ r), (n\ n\ n), (f\ f\ f)_{3D\ comp}, (f\ f\ f)_{size}^*, ((r\ r\ r)_f + (n\ n\ n)_f)_{site}]$ of the composite materials for the analysis of the effective values of the dimension parameter was discussed. This representation includes the symbolic descriptions of the structural states of the crystal $(r\ r\ r)$ and nano-dimension $(n\ n\ n)$ components, the probable quazi-fractal configurations of inter-phase boundaries $(f\ f\ f)_{3D\ comp}$, the quazi-fractal size-distributions $(f\ f\ f)_{size}^*$ and site-distributions $((r\ r\ r)_f + (n\ n\ n)_f)_{site}$ of the elements into composite volume. It is expected that some of these analyzed variants of the complex structural states can be the result of a certain phase disordered state of the composite materials and were used in assessing the magnitude of synergy manifestations of anti-frictional properties by composite components under friction and wear.

Keywords: structural states, composite materials, crystal and nano-dimension components, quazi-fractal configurations of inter-phase boundaries, the phase site-distribution, size-distribution, phase disordered state

В 3D пространстве, структурированном с помощью разбиения его на модулярные ячейки, возможно формирование невырожденных модулярных структур [9, 10]. В ячейках такого пространства реализуются структурные состояния в общем случае с кристаллической, наноразмерной и фрактальной компонентами [1–4, 6, 7, 15–17]. Образы сечений подобных структур рассматривали как возможные аппроксиманты вероятных сайз-распределений фаз и квазифрактальных конфигураций межфазных границ на поверхности композитов [1, 2, 15, 16]. Определены размерные характеристики возможных многокомпонентных структурных состояний систем [5].

В [6, 7] для описания комплексного структурного состояния объема композита предложено учитывать состояния классов $(r\ r\ r)$, $(n\ n\ n)$ и некоторые фрактальные ком-

поненты класса $(f\ f\ f)$. Однако, при этом не учитывали возможное влияние состояний в гиперобъеме материала на комплексное структурное состояние композита, в частности, на условный размерный параметр поверхности, что является целью данной работы. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1) описание объемных структурных состояний, указанных в 15-мерном («гиперпространственном») представлении и определение размерного параметра $\langle D \rangle$,

2) определение влияния дополнительных по отношению к объему возможных компонент гиперобъемных структурных состояний на размерный параметр $\langle D \rangle$.

Проанализируем некоторые особенности «гиперпространственного» представления структурных состояний композитов и методику определения объемного размер-

ного параметра с учетом возможного гиперобъемного состояния этого же материала.

«Гиперпространственное» представление объемных структурных состояний

В общем случае методика «гиперпространственного» представления возможных структурных состояний (15-мерной в объеме материала $[(r\ r\ r), (n\ n\ n), (f\ f\ f)_{3D\ conf}^*, ((r\ r\ r)_f + (n\ n\ n)_{f, site})]$ включает в себя следующие процедуры:

– описание структурных состояний из кристаллической $(r\ r\ r)$ и наноразмерной $(n\ n\ n)$ компонент композита,

– описание вероятных квазифрактальных конфигураций межфазных границ $(f\ f\ f)_{3D\ conf}$ которые являются 3D оболочками системы элементов детерминистических модулярных структур с соответствующими фрактальными состояниями,

– описание вероятных квазифрактальных 3D распределений элементов r и n по размерам (описания $size$ -распределений в объеме композита $(r\ r\ r)_{f, size}$ и $(n\ n\ n)_{f, size}$).

Приведем пример выбора необходимых для анализа объемных структурных состояний некоторого кристаллического наноразмерного квазифрактального объекта в виде 5×10 -матрицы:

$$\begin{pmatrix} (rrr) \\ (nnn) \\ (fff)_{3D\ conf} \\ (fff)_{site} = (fff)^* \\ (rrr)_f, (nnn)_{f, size} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (rrr) & (rrr_f) & (rr_f r_f) & (r_f r_f r_f) & (rr_n r_f) & (r_n r_n r_f) & (rrr_n) & (r_n r_f r_f) & (rr_n r_n) & (r_n r_n r_n) \\ (nnn) & (nnn_f) & (nn_f n_f) & (n_f n_f n_f) & (nnn_f) & (nn_f n_f) & (n_f n_f n_f) & (n_f n_f n_f) & (n_f n_f n_f) & (nn_f n_f) \\ (fff) & (fff_n) & (ff_n f_n) & (f_n f_n f_n) & (fff_f) & (ff_f f_f) & (f_f f_f f_f) & (f_f f_f f_f) & (f_f f_f f_f) & (f_n f_n f_n) \\ (fff) & (ffn_f) & (fn_f n_f) & (n_f n_f n_f) & (ffr_f) & (fr_f r_f) & (r_f r_f r_f) & (r_f r_f r_f) & (r_f n_f n_f) & (n_f n_f n_f) \\ (rrr_f) & (rr_n r_f) & (r_n r_n r_f) & (rr_f r_f) & (r_n r_f r_f) & (nnn_f) & (nn_f n_f) & (n_f n_f n_f) & (nn_f n_f) & (n_f n_f n_f) \end{pmatrix}.$$

Приведем подробные описания указанных в матрице 3D состояний.

1. Класс кристаллический, подкласс P состояния $(r\ r\ r)$:

$(r\ r\ r)$ – 3D кристалл из упорядоченных в объеме и слоях цепочек асимметричных модулей,

$(r\ r\ r_n)$ – 3D кристалл из упорядоченных цепочек нанофрагментов и слоев асимметричных модулей,

$(r\ r\ r_f)$ – 3D кристалл из упорядоченных цепочек локальных фракталов и слоев асимметричных модулей,

$(r\ r_n r_n)$ – 3D кристалл из упорядоченных в слое цепочек нанофрагментов и цепочек асимметричных модулей,

$(r\ r_n r_f)$ – 3D кристалл из упорядоченных цепочек локальных фракталов, нанофрагментов и асимметричных модулей,

$(r\ r_f r_f)$ – 3D кристалл из упорядоченных в слое цепочек локальных фракталов и цепочек асимметричных модулей,

$(r_n r_n r_n)$ – 3D кристалл из упорядоченных в объеме и слоях цепочек нанофрагментов,

$(r_n r_n r_f)$ – 3D кристалл из упорядоченных в слое цепочек нанофрагментов и цепочек локальных фракталов,

$(r_n r_f r_f)$ – 3D кристалл из упорядоченных в слое цепочек локальных фракталов и цепочек нанофрагментов,

$(r_f r_f r_f)$ – 3D кристалл из упорядоченных в объеме и слоях цепочек локальных фракталов.

2. Класс наноразмерный, подкласс N состояния $(n\ n\ n)$:

$(n\ n\ n)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в объеме и слоях цепочек наночастиц,

$(n\ n\ n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных цепочек нанофрагментов и слоев наночастиц,

$(n\ n\ n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных цепочек нанофракталов и слоев наночастиц,

$(n\ n\ n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофрагментов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофрагментов, нанофракталов и наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных цепочек нанофрагментов, нанофракталов и наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n\ n_f n_f)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек наночастиц,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в объеме и слоях цепочек нанофрагментов,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слое цепочек нанофрагментов и цепочек нанофракталов,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D нанообъект из цепочек нанофрагментов структуры и упорядоченных в слое цепочек нанофракталов,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в объеме и слоях цепочек нанофракталов.

3. Класс гибридный фрактальный, подкласс F состояния $(f f f)$:

$(f f f)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме и слоях цепочек асимметричных фракталов,

$(f f f_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек асимметричных фракталов и цепочек фрактальных фрагментов,

$(f f f_n)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек асимметричных фракталов и цепочек наноструктурированных фракталов,

$(f f_r f_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек фрактальных фрагментов и цепочек асимметричных фракталов,

$(f f_r f_n)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме цепочек фрактальных фрагментов, наноструктурированных фракталов и асимметричных фракталов,

$(f f_n f_n)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек наноструктурированных фракталов и цепочек асимметричных фракталов,

$(f_n f_r f_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек фрактальных фрагментов и цепочек наноструктурированных фракталов,

$(f_r f_r f_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме слоев из цепочек фрактальных фрагментов,

$(f_r f_n f_n)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек наноструктурированных фракталов и цепочек фрактальных фрагментов,

$(f_n f_n f_n)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме слоев из цепочек наноструктурированных фракталов.

4. Класс сопряженный гибриднему фрактальному, подкласс F* состояния $(f f f)^*$:

$(f f f)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме и слоях цепочек асимметричных фракталов,

$(f f f_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слоях цепочек асимметричных фракталов и цепочек локальных фракталов,

$(f f n_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слоях цепочек асимметричных фракталов и цепочек нанофракталов,

$(f r_r r_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек локальных фракталов и цепочек асимметричных фракталов,

$(f r_r n_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме цепочек локальных фракталов, нанофракталов и асимметричных фракталов,

$(f n_r n_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек асимметричных фракталов,

$(n_r r_r r_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек локальных фракталов и цепочек нанофракталов,

$(r_r r_r r_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме цепочек локальных фракталов,

$(r_r n_r n_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в слое цепочек нанофракталов и цепочек локальных фракталов,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D фрактальный объект из упорядоченных в объеме цепочек нанофракталов.

5. Класс наноразмерный, подкласс N, только состояния $(n n n)_f$:

$(n n n_r)$ – 3D нанообъект из слоев наночастиц и наночастиц, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону,

$(n n_r n_r)$ – 3D нанообъект из нанофрагментов структуры и наночастиц, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону,

$(n n_r n_r)$ – 3D нанообъект из наночастиц, упорядоченных в слоях по фрактальному закону,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D нанообъект из упорядоченных в слоях цепочек нанофрагментов и наночастиц, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону,

$(n_r n_r n_r)$ – 3D нанообъект из цепочек нанофрагментов структуры и наночастиц, упорядоченных в слоях по фрактальному закону.

6. Класс кристаллический, подкласс P, только состояния $(r r r)_f$:

$(r r r_r)$ – 3D кристалл из слоев асимметричных модулей и модулей, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону,

$(r r_n r_r)$ – 3D кристалл из асимметричных модулей, нанофрагментов и асимметричных модулей, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону,

$(r r_r r_r)$ – 3D кристалл из асимметричных модулей, упорядоченных в слоях по фрактальному закону,

$(r_n r_n r_r)$ – 3D кристалл из упорядоченных в слоях цепочек нанофрагментов и асимметричных модулей, упорядоченных в цепочках по фрактальному закону,

$(r_n r_f r_r)$ – 3D кристалл из цепочек нанофрагментов и асимметричных модулей, упорядоченных в слоях по фрактальному закону.

Дополнительными по отношению к поверхности возможными компонентами объемных структурных состояний могут быть следующие 1D объекты:

$$\begin{pmatrix} (r) \\ (n) \\ (f)_{1Dconf} \\ (f)_{site} = (f)^* \\ (r)_f, (n)_{f,size} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (r) & (r_f) & (r_n) \\ (n_r) & (n_f) & (n) \\ (f_r) & (f) & (f_n) \\ (r_f) & (f) & (n_f) \\ (r_f) & (-) & (n_f) \end{pmatrix}.$$

Приведем подробные описания указанных в матрице состояний 1D объектов с указанием их класса.

1. Класс кристаллический, подкласс R состояния (r):

(r) – 1D кристалл из упорядоченных в цепочке асимметричных модулей,

(r_n) – 1D кристалл из упорядоченных в цепочке нанофрагментов,

(r_f) – 1D кристалл из упорядоченных в цепочке локальных фракталов.

2. Класс наноразмерный, подкласс N состояния (n):

(n) – 1D нанобъект из упорядоченных в цепочке наночастиц,

(n_r) – 1D нанобъект из упорядоченных в цепочке нанофрагментов структуры,

(n_f) – 1D нанобъект из упорядоченных в цепочке нанофракталов.

3. Класс фрактальный, подкласс F состояния (f):

(f) – 1D фрактальный объект из упорядоченных в цепочке асимметричных фракталов,

(f_r) – 1D фрактальный объект из упорядоченных в цепочке фрактальных фрагментов,

(f_n) – 1D фрактальный объект из упорядоченных в цепочке наноструктурированных фракталов.

4. Класс сопряженный фрактальному, подкласс F* состояния (f)*:

(f) – 1D фрактальный объект из упорядоченных в цепочке асимметричных фракталов,

(r_f) – 1D фрактальный объект из упорядоченных в цепочке локальных фракталов,

(n_f) – 1D фрактальный объект из упорядоченных в цепочке нанофракталов.

5. Класс наноразмерный, подкласс N, только состояния (n)_f:

(n_f) – 1D нанобъект из наночастиц, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону.

6. Класс кристаллический, подкласс R, только состояния (r)_f:

(r_f) – 1D кристалл из асимметричных модулей, упорядоченных в цепочке по фрактальному закону.

Формальный учет этих дополнительных состояний для объема означает гиперпространственную поправку, т.е. учет влияния на размерный параметр <D> гиперобъемной характеристики структурного состояния материала:

$$\begin{pmatrix} (rrr) \\ (nnn) \\ (fff)_{3Dconf} \\ (fff)_{site} = (fff)^* \\ (rrr)_f, (nnn)_{f,size} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} (r) \\ (n) \\ (f)_{1Dconf} \\ (f)_{site} = (f)^* \\ (r)_f, (n)_{f,size} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (rrrr) \\ (nnnn) \\ (ffff)_{4Dconf} \\ (ffff)_{site} = (ffff)^* \\ ((rrrr)_f + (nnnn)_f)_{f,size} \end{pmatrix}.$$

Необходимые структурные состояния кристаллического (r r r), наноразмерного (n n n), гибридного фрактального (f f f) и сопряженного с ним (f f f)* класса могут быть перечислены в соответствии с методикой, аналогичной представленной в [6, 7].

Условный размерный параметр D_i для каждого i-го структурного 4D состояния может быть рассчитан по формуле D_i = 0,5(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. Значения для кристаллической компоненты D(r)=1, для фрактальной компоненты совпадают с фрактальной размерностью: D(f) = DimR_f = Dim (GenR_f) < 1, для наноразмерной компоненты D(n) = (<n>/n₀) < 1, если средний размер нанобъекта <n> меньше, чем n₀ = 100 нм [5].

Пример методики расчета размерного параметра <D>. Предположим, что для структурного 3D состояния объема некоторого композита

$$\begin{bmatrix} (r_n r_f r_n), (n_n n_f n_n), (f_f f_n f_r) \\ (r_f n_f n_f)_{site}, (r_n r_f r_f), (n_n n_f n_f)_{f,size} \end{bmatrix}$$

и связанного с ним 4D состояния в гиперобъеме

$$\begin{bmatrix} (r_n r_f r_n r_f), (n_n n_f n_n n_n), (f_f f_n f_n f_r)_{4D conf} \\ (r_f n_f n_f n_f)_{site}, (r_n r_f r_f r_f), (n_n n_f n_f n_f)_{f,size} \end{bmatrix}$$

имеем:

– среднее значение параметра для 3D состояния

$$\langle D \rangle_{3D} = (1/12)(8 D(r) + 16 \langle D(n) \rangle + 12 \langle D(f) \rangle) = (2/3) + (4/3) \langle D(n)_1 \rangle + \langle D(f)_2 \rangle,$$

– среднее значение параметра для 4D состояния

$$\langle D \rangle_{4D} = (1/12)(11 D(r) + 19 \langle D(n) \rangle + 18 \langle D(f) \rangle) = (11/12) + (19/12) \langle D(n)_1 \rangle + (3/2) \langle D(f)_2 \rangle.$$

Тогда среднее значение параметра только для четвертых координат 4D состояния

$$\langle D \rangle_{1D} = (1/12)(3 D(r) + 3 \langle D(n) \rangle + 6 \langle D(f) \rangle) = (1/4) + 0,25 \langle D(n)_2 \rangle + (1/2) \langle D(f)_3 \rangle,$$

а среднее значение параметра для объема с учетом гипербъемной поправки

$$\langle D_{\text{объема}} \rangle = (2/3)(\langle D \rangle_{3D} + \langle D \rangle_{1D}).$$

Таким образом, в зависимости от возможного «продолжения» композиционного материала (кристаллическое, наноразмерное или квазифрактальное) в четвертом («гиперпространственном») измерении эффективное значение размерного параметра $\langle D_{\text{объема}} \rangle$ может отличаться от формального значения $\langle D \rangle_{3D}$. Отметим, что результаты анализа возможных видов структурных состояний и оценка размерного параметра необходимы для учета его возможного влияния на некоторые аддитивные свойства соответствующего композиционного материала. В частности, отклонение значения параметра для анализируемого многофазного объекта от величины мерности пространства, в котором этот объект существует, может обусловить эффект синергизма свойств функциональных компонентов, например, твердой и смазочной компоненты трибологических свойств антифрикционных композиционных покрытий [12–14, 18, 19].

Выводы

Рассмотрено возможное «гиперпространственное» представление структурных состояний объема $[(r \ r \ r), (n \ n \ n), (f \ f \ f)]_{3D \text{ comp}} (f \ f \ f)^*_{\text{size}}, ((r \ r \ r)_f + (n \ n \ n)_f)_{\text{site}}$ композиционного материала для анализа величины эффективного размерного параметра, определяющего отклонение аддитивных поверхностных свойств материалов от соответствующих его объемных свойств. Предполагается, что некоторые из проанализированных вариантов комплексных состояний могут быть результатом непрерывной реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния композиционных материалов и использованы при оценке величины синергического эффекта

проявления антифрикционных свойств компонентами композита при трении и износе.

Список литературы

1. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. Фрактальные структуры 2D пространства как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ и распределения фаз на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2013. – № 9. – С. 86–88.
2. Иванов В.В. Фрактальные структуры как возможные абстракции сайз-распределения фаз и конфигурации межфазных границ на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2013. – № 10(3). – С. 493–494.
3. Иванов В.В. Формирование фрактальных структур на основе итерационной последовательности и канторова множества точек с заданными характеристиками в 1D-пространстве // *Успехи современного естествознания*. – 2013. – № 8. – С. 136–137.
4. Иванов В.В. Возможные структурные состояния детерминистических модулярных структур с фрактальной компонентой в 3D пространстве // *Успехи современного естествознания*. – 2014. – № 4. – С. 105–108.
5. Иванов В.В. Размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную и наноразмерную компоненту // *Успехи современного естествознания*. – 2014. – № 7. – С. 121–123.
6. Иванов В.В. Возможные состояния модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 8. – С. 24–27.
7. Иванов В.В. Возможные состояния распределения модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов в объеме антифрикционных композиционных материалов // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2015. – № 5. – С. 16–19.
8. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. Эволюционная модель формирования и анализ детерминистических фрактальных решеток // *Успехи современного естествознания*. – 2012. – № 4. – С. 230–232.
9. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение и структурирование пространства, описание процесса формирования модульного кристалла // *Успехи соврем. естествознания*. – 2012. – № 8. – С. 75–77.
10. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение структурированного 3D пространства на модулярные ячейки и моделирование невырожденных модулярных структур // *Успехи соврем. естествознания*. – 2012. – № 10. – С. 78–80.
11. Ivanov V.V. Possible states of the modular structures with nano-dimensional component into compositional coatings with anti-frictional properties // *Eastern European Scientific Journal*. – 2016. – N.1 – pp. 192–195.
12. Ivanov V.V. “Concentration waves” model for the tribologic system CM1/LL_o/CM2 // *International journal of experimental education*. – 2014. – № 4. – Part 2. – p. 58–59.
13. Ivanov V.V. “Concentration waves” model for the tribologic system CM1/o/CM2 // *International journal of experimental education*. – 2014. – № 4. – Part 2. – p. 59–60.
14. Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional coatings with taking into consideration the solid component of the counter-body and the liquid lubricant // *European Journal of Natural History*. – 2015. – № 3. – С. 36–37.
15. Ivanov V. V., Derlugian P.D., Ivanova I.V., et al. Fractal structures as a possible abstractions of the site and size-distributions of phases and a possible approximants of the interphase borders configurations onto surface of the composites // *Eastern European Scientific Journal*. – 2016. – N.2 – pp. 203–206.
16. Ivanov V. V., Derlugian P.D., Ivanova I.V., et al. Ultradispersoids as the modifiers for some compositional coatings // *Eastern European Scientific Journal*. – 2016. – N. 2 – pp. 207–210.
17. Ivanov V.V., Ivanova I.V. Structural states of the surface of compositional coatings with nano-dimensional and fractal components // *Eastern European Scientific Journal*. – 2016. – N.1 – pp. 195–198.
18. Shcherbakov I. N., Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional Ni-P-coatings // *European Journal of Natural History*. – 2015. – № 3. – С. 48.
19. Shcherbakov I.N., Ivanov V.V. Multilayered composite solid lubricating coating // *Eastern European Scientific Journal*. – 2016. – N.2 – pp. 199–202.