

УДК 548.1

# **КОНТИНУАЛЬНЫЕ И ДИСКОНТИНУАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР ФРАКТАЛЬНОГО ГИБРИДНОГО КЛАССА (FFF)**

**Иванов В.В.**

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

Обсуждаются особенности организации возможных состояний многокомпонентных детерминистических модулярных структур фрактальных объектов класса  $(f f f)$  с дискретными и континуальными компонентами. Предложена классификация возможных состояний данных многокомпонентных структур фрактальных и квазифрактальных подклассов. Показана принципиальная возможность существования восьмидесяти трех комплексных структурных состояний, которые характеризуют состояния в гибридных фракталах  $(f f f)$ , квазифракталах  $((f_0 f f), (f_0 f_0 f), (f_0 f_0 f_0))$ , аperiodических фракталах  $((f_s f f), (f_s f_s f), (f_s f_s f_s))$ , 1D и 2D континуум содержащих фрактальных объектах  $((\tau f f), (\tau \tau f))$  и возможные их комбинации. Предполагается, что некоторые из проанализированных вариантов состояний могут быть аппроксимантами конфигураций межфазных границ и распределений фаз – результатов реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционных материалов и покрытий при трении и износе.

**Ключевые слова:** фрактальная структура, модулярная фрактальная структура, структурное состояние, фрактальная компонента, фракталы, квази-фрактальные объекты, аperiodические фрактальные объекты, 1D и 2D континуум содержащие фрактальные объекты, модуль, симметрия

## **CONTINUAL AND DISCONTINUAL STATES OF THE MULTI-COMPONENTS DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES FROM THE FRACTAL GIBRID (FFF) CLASS**

**Ivanov V.V.**

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

General peculiarities organization and the possible states of the multi-components deterministic modular structures of fractal objects from  $(f f f)$  class with discrete and continual components are discussed. Classification of possible states of these modular structures from fractal and quasi-fractal subclasses was proposed. Shows the possibility of existence of the eighty three complex structural states, that characterize the states of fractal objects  $(f f f)$ , quasi-fractal objects  $((f_0 f f), (f_0 f_0 f), (f_0 f_0 f_0))$ , aperiodic fractal objects states  $((f_s f f), (f_s f_s f), (f_s f_s f_s))$ , the states of 1D and 2D continuum containing fractal objects  $((\tau f f), (\tau \tau f))$  and the possible its combinations. Some of these analyzed variants of the complex structural states are may be an approximants of the configurations of interphase boundaries and some phase distributions as the implementation results of specific phase-disordered state onto surface of the composite materials and coatings under friction and wear.

**Keywords:** fractal structure, modular fractal structure, structural state, fractal component, fractal objects, quasi-fractal objects, aperiodic fractal objects, 1D and 2D continuum containing fractal objects, module, symmetry

Ранее в работах [19-23] при описании возможных 3D состояний различных фрактальных объектов класса  $(f f f)$  были использованы следующие 1D состояния: фрактальный объект из наночастиц  $f_n$  (наноструктурированный фрактал), фрактальный объект из кристаллических фрагментов  $f_r$  (фрактальный фрагмент), фрактальный объект из локальных фракталов  $f_l \equiv f$  (фрактал). Если объекты этих состояний в комбинаторно возможных сочетаниях полностью упорядочены в ячеистом 3D пространстве, то они образуют детерминистическую вырожденную модулярную структуру  $R^3$  [37-39].

В [4-6, 24, 36, 40] были разработаны эволюционная модель, сформулированы принципы формирования и проведена классификация простых и гибридных фрактальных

структур. Установлено, что детерминистические фрактальные структуры с любыми необходимыми размерными и спектральными характеристиками могут быть сформированы в определенном ячеистом 2D или 3D пространстве [1, 7-17, 25, 41]. Установлено также, что характеристики детерминистических фрактальных структур могут быть определены из описания возможных фрактальных состояний гибридного фрактального класса  $(f f f)$ . Они могут быть использованы при описании и интерпретации особенностей распределений фаз и конфигурации межфазных границ на поверхности и в объеме антифрикционных композиционных покрытий [2, 3, 18, 26-28]. Отметим, что модулярные фрактальные структуры в приложении к композиционным материа-

лам могут рассматриваться как абстракции (аппроксиманты) специфических особенностей их структурной организации [29-31].

С учетом использования возможных континуальных компонент состояний в качестве компонент ультрадисперсных композиционных материалов и покрытий можно рассматривать и аморфные структурные элементы некоторого наноструктурированного гетерогенного объекта. Формализм наличия континуальных компонентов в описании структурного состояния может рассматриваться и как способ реализации разбиения детерминистической структуры на подструктуры с континуальными 1D и 2D границами.

Таким образом, необходимость анализа возможных структурных состояний фрактальных объектов класса (f f f) не только с дискретными, но и континуальными элементами очевидна.

#### Анализ возможных классов фрактальных структурных состояний

В общем случае методика гиперпространственной презентации структурных состояний (8-мерной на поверхности (r r, n n; f f, (f f)\*) и 12-мерной в объеме материала (r r r, n n n, f f f, (f f f)\*)) включает в себя следующие процедуры: описание структурных состояний из кристаллической и наноразмерной компонент композита, описание вероятных квазифрактальных конфигураций межфазных границ (f f)<sub>2Dconf</sub> и (f f f)<sub>3Dconf</sub>, которые являются 2D и 3D оболочкой системы элементов детерминистических модулярных структур с соответствующими фрактальными состояниями, описание вероятных квазифрактальных 1D, 2D или 3D распределений элементов по позициям детерминистических модулярных структур (описания site-распределений (f f)<sub>site</sub> = (f f)\* и (f f f)<sub>site</sub> = (f f f)\*), описание вероятных квазифрактальных 1D, 2D или 3D распределений элементов r и n по размерам (описания size-распределений на поверхности (r r)<sub>f, size</sub> и (n n)<sub>f, size</sub> и в объеме композита (r r r)<sub>f, size</sub> и (n n n)<sub>f, size</sub>).

Приведем пример выбора необходимых для анализа поверхностных состояний. Пусть для поверхности некоторого кристаллического наноразмерного квазифрактального объекта формально могут быть получены следующие структурные состояния: с кристаллической компонентой (r r), (r r<sub>f</sub>), (r<sub>f</sub> r<sub>f</sub>), (r r<sub>n</sub>), (r<sub>n</sub> r<sub>n</sub>), (r<sub>n</sub> r<sub>f</sub>); с наноразмерной компонентой (n n), (n n<sub>r</sub>), (n<sub>r</sub> n<sub>r</sub>), (n n<sub>f</sub>), (n<sub>f</sub> n<sub>f</sub>), (n<sub>f</sub> n<sub>r</sub>); с фрактальной компонентой (f f), (f f<sub>f</sub>), (f<sub>f</sub> f<sub>f</sub>), (f f<sub>n</sub>), (f<sub>n</sub> f<sub>n</sub>), (f<sub>n</sub> f<sub>f</sub>); сопряженные (f f)\* = (f f), (f f<sub>n</sub>)\* = (f r<sub>f</sub>), (f<sub>f</sub> f<sub>f</sub>)\* = (r<sub>f</sub> r<sub>f</sub>), (f f<sub>n</sub>)\* = (f n<sub>f</sub>), (f<sub>n</sub> f<sub>n</sub>)\* = (n<sub>f</sub> n<sub>f</sub>), (f<sub>f</sub> f<sub>n</sub>)\* = (r<sub>f</sub> n<sub>f</sub>). Тогда характеристики конфигураций (f f)<sub>2Dconf</sub> для межфазных границ определяются из множества

состояний {(f f), (f f<sub>f</sub>), (f<sub>f</sub> f<sub>f</sub>), (f f<sub>n</sub>), (f<sub>n</sub> f<sub>n</sub>), (f<sub>n</sub> f<sub>f</sub>)}, site-распределения (f f)<sub>site</sub> определяются из множества состояний {(f f), (f r<sub>f</sub>), (r<sub>f</sub> r<sub>f</sub>), (f n<sub>f</sub>), (n<sub>f</sub> n<sub>f</sub>), (r<sub>f</sub> n<sub>f</sub>)}, а size-распределения (r r)<sub>f, size</sub> - из множества состояний {(r r<sub>f</sub>), (r<sub>f</sub> r<sub>f</sub>), (r<sub>n</sub> r<sub>n</sub>), (n n<sub>f</sub>), (n<sub>f</sub> n<sub>f</sub>), (n<sub>r</sub> n<sub>r</sub>)}

С учетом характера элементов дискретной {τ<sub>i</sub>} и/или непрерывной группы трансляций {τ<sub>i</sub>} (i = 1, 2, 3) могут быть получены основные классы вероятных структурных состояний фрактальных объектов с дискретными и континуальными элементами структур в 3D пространстве [20, 26, 27, 39] (таблица). Предполагается, что все локальные элементы этих состояний (фрактал, фрактальный фрагмент или наноструктурированный фрактал) асимметричны, поэтому при их частичной или полной разупорядоченности рассматриваются детерминистические фрактальные структуры вида R<sup>3</sup><sub>s,0</sub>. Индексы s и 0 означают количества независимых кристаллографических направлений, в которых асимметричные фрактальные элементы соответственно позиционно и ориентационно упорядочены в 3D пространстве. По аналогии с аperiодическими кристаллами и квазикристаллами [42, 48, 50] можно рассматривать аperiодические фрактальные, аperiодические квазифрактальные и просто фрактальные объекты.

Отметим, что результаты анализа возможных видов структурных состояний наносистемы необходимы для учета влияния размерного параметра на некоторые аддитивные свойства соответствующего наноструктурированного материала [32-35].

#### Классификация возможных состояний фрактальных объектов

**Фрактальные классы** (20 подклассов, 56 состояний вида (f f f) или его производные).

1. Класс фрактальный, подкласс F состояний (f f f):

(f f f) – 3D фрактальный объект из упорядоченных слоев асимметричных фракталов,

(f f f<sub>f</sub>) – 3D фрактальный объект из цепочек фрактальных фрагментов и слоев асимметричных фракталов,

(f f f<sub>n</sub>) – 3D фрактальный объект из цепочек наноструктурированных фракталов и слоев асимметричных фракталов,

(f f f<sub>f</sub>) – 3D фрактальный объект из слоев фрактальных фрагментов и цепочек асимметричных фракталов,

(f f<sub>r</sub> f<sub>n</sub>) – 3D фрактальный объект из цепочек асимметричных фракталов, фрактальных фрагментов, и наноструктурированных фракталов,

(f f<sub>n</sub> f<sub>n</sub>) – 3D фрактальный объект из слоев наноструктурированных фракталов и цепочек асимметричных фракталов,

Основные классы структурных состояний фрактальных объектов

| Структурное состояние                              | Подклассы структурных состояний                    |                                                                                    | Структура и класс групп ее симметрии | Возможная симметрия структурных модулей фрактальных объектов |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                    | Разновидности                                      | Наименование и условное обозначение                                                |                                      |                                                              |
| (fff)                                              | (t <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>3</sub> )    | Фрактальный, F                                                                     | $R^3_{(3,3)}(G^3_3)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>3</sub> )    | Фрактальный 1D континуальный, FL                                                   | $R^3_{(3,2)}(G^3_2)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> τ <sub>2</sub> t <sub>3</sub> )    | Фрактальный 2D континуальный, FPI                                                  | $R^3_{(3,1)}(G^3_1)$                 | $G^1_0, G^2_0$ (предельная)                                  |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> τ <sub>2</sub> τ <sub>3</sub> )    | 3D континуальный, V                                                                | $R^3_{(3,0)}(G^3_0)$                 | $G^3_0$ (предельная)                                         |
| (ff <sub>0</sub> f <sub>0</sub> )                  | (t <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>0</sub> )    | Квазифрактальный, F <sub>0</sub>                                                   | $R^3_{(3,2)}(G^3_3)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>0</sub> )    | Квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>0</sub>                                 | $R^3_{(3,2)}(G^3_3)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> τ <sub>2</sub> t <sub>0</sub> )    | Квазифрактальный 2D континуальный, FPI <sub>0</sub>                                | $R^3_{(3,2)}(G^3_3)$                 | $G^1_0, G^2_0$ (предельная)                                  |
| (ff <sub>0</sub> f <sub>0</sub> )                  | (t <sub>1</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> )    | Квазифрактальный, F <sub>00</sub>                                                  | $R^3_{(3,1)}(G^3_3)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> )    | Квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>00</sub>                                | $R^3_{(3,1)}(G^3_3)$                 | $G^2_0, G^1_0$ (предельная)                                  |
| (f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> )    | (t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> )    | Квазифрактальный, F <sub>000</sub>                                                 | $R^3_{(3,0)}(G^3_3)$                 | $G^3_0$                                                      |
| (ff <sub>s</sub> f <sub>s</sub> )                  | (t <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический фрактальный, F <sub>s</sub>                                         | $R^3_{(2,3)}(G^3_2)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический фрактальный 1D континуальный, FL <sub>s</sub>                       | $R^3_{(2,3)}(G^3_2)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> τ <sub>2</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический фрактальный 2D континуальный, NPI <sub>s</sub>                      | $R^3_{(2,3)}(G^3_2)$                 | $G^1_0, G^2_0$ (предельная)                                  |
| (ff <sub>s</sub> f <sub>s</sub> )                  | (t <sub>1</sub> t <sub>s</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический фрактальный, F <sub>ss</sub>                                        | $R^3_{(1,3)}(G^3_1)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>s</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический фрактальный 1D континуальный, FL <sub>ss</sub>                      | $R^3_{(1,3)}(G^3_1)$                 | $G^2_0, G^1_0$ (предельная)                                  |
| (f <sub>s</sub> f <sub>s</sub> f <sub>s</sub> )    | (t <sub>s</sub> t <sub>s</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический фрактальный, F <sub>sss</sub>                                       | $R^3_{(0,3)}(G^3_0)$                 | $G^3_0$                                                      |
| (ff <sub>s</sub> f <sub>0s</sub> )                 | (t <sub>1</sub> t <sub>s</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss0</sub> <sup>*</sup>                     | $R^3_{(1,2)}(G^3_1)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>s</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>ss0</sub> <sup>*</sup>   | $R^3_{(1,2)}(G^3_1)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
| (f <sub>s</sub> f <sub>s</sub> f <sub>0</sub> )    | (t <sub>s</sub> t <sub>s</sub> t <sub>0</sub> )    | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss0</sub>                                  | $R^3_{(1,2)}(G^3_1)$                 | $G^3_0, G^2_{1,0}$                                           |
| (ff <sub>0</sub> f <sub>0s</sub> )                 | (t <sub>1</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный, F <sub>s00</sub> <sup>*</sup>                     | $R^3_{(2,1)}(G^3_2)$                 | $G^3_0, G^2_{1,0}$                                           |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>s00</sub> <sup>*</sup>   | $R^3_{(2,1)}(G^3_2)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
| (f <sub>s</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> )    | (t <sub>s</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> )    | Апериодический квазифрактальный, F <sub>s00</sub>                                  | $R^3_{(2,1)}(G^3_2)$                 | $G^3_0$                                                      |
| (ff <sub>0s</sub> f <sub>0s</sub> )                | (t <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный, F <sub>s0</sub> <sup>*</sup>                      | $R^3_{(2,2)}(G^3_2)$                 | $G^3_0, G^3_{1,0}$                                           |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>2</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>s0</sub> <sup>*</sup>    | $R^3_{(2,2)}(G^3_2)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> τ <sub>2</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный 2D континуальный, FPI <sub>s0</sub> <sup>*</sup>   | $R^3_{(2,2)}(G^3_2)$                 | $G^1_0, G^2_0$ (предельная)                                  |
| (ff <sub>0</sub> f <sub>s</sub> )                  | (t <sub>1</sub> t <sub>0</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический квазифрактальный, F <sub>s0</sub>                                   | $R^3_{(2,2)}(G^3_2)$                 | $G^3_0$                                                      |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>0</sub> t <sub>s</sub> )    | Апериодический квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>s0</sub>                 | $R^3_{(2,2)}(G^3_2)$                 | $G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)                        |
| (ff <sub>0s</sub> f <sub>0s</sub> )                | (t <sub>1</sub> t <sub>0s</sub> t <sub>0s</sub> )  | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss00</sub> <sup>**</sup>                   | $R^3_{(1,1)}(G^3_1)$                 | $G^3_0, G^3_{2,0}, G^2_{1,0}$                                |
|                                                    | (τ <sub>1</sub> t <sub>0s</sub> t <sub>0s</sub> )  | Апериодический квазифрактальный 1D континуальный, FL <sub>ss00</sub> <sup>**</sup> | $R^3_{(1,1)}(G^3_1)$                 | $G^2_0, G^1_0$ (предельная)                                  |
| (f <sub>s</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0s</sub> )   | (t <sub>s</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss00</sub> <sup>*</sup>                    | $R^3_{(1,1)}(G^3_1)$                 | $G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$                                |
| (f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0s</sub> )   | (t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный, F <sub>s000</sub> <sup>*</sup>                    | $R^3_{(2,0)}(G^3_2)$                 | $G^3_0, G^2_{1,0}$                                           |
| (f <sub>0</sub> f <sub>0s</sub> f <sub>0s</sub> )  | (t <sub>0</sub> t <sub>0s</sub> t <sub>0s</sub> )  | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss000</sub> <sup>**</sup>                  | $R^3_{(1,0)}(G^3_1)$                 | $G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$                                |
| (f <sub>s</sub> f <sub>s</sub> f <sub>0s</sub> )   | (t <sub>s</sub> t <sub>s</sub> t <sub>0s</sub> )   | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss0</sub> <sup>*</sup>                     | $R^3_{(0,2)}(G^3_0)$                 | $G^3_0, G^2_{1,0}$                                           |
| (f <sub>s</sub> f <sub>0s</sub> f <sub>0s</sub> )  | (t <sub>s</sub> t <sub>0s</sub> t <sub>0s</sub> )  | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss00</sub> <sup>**</sup>                   | $R^3_{(0,1)}(G^3_0)$                 | $G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$                                |
| (f <sub>0s</sub> f <sub>0s</sub> f <sub>0s</sub> ) | (t <sub>0s</sub> t <sub>0s</sub> t <sub>0s</sub> ) | Апериодический квазифрактальный, F <sub>ss000</sub> <sup>***</sup>                 | $R^3_{(0,0)}(G^3_0)$                 | $G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$                                |





рядоченных цепочек асимметричных фракталов и наноструктурированных фракталов,

$(f_r f_r f_{0s})$  – 1D апериодический квазифрактальный 3D объект из позиционно разупорядоченных слоев фрактальных фрагментов,

$(f_r f_n f_{0s})$  – 1D апериодический квазифрактальный 3D объект из позиционно разупорядоченных слоев из фрактальных фрагментов и наноструктурированных фракталов,

$(f_n f_n f_{0s})$  – 1D апериодический квазифрактальный 3D объект из позиционно разупорядоченных слоев из наноструктурированных фракталов.

9. Класс апериодический квазифрактальный, подклассы  $F_{00s}^*$  и  $F_{00s}^{**}$  состояния  $(f_0 f_0 f_s)$ :

$(f_0 f_0 f_s)$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из цепочек позиционно разупорядоченных фракталов и слоев ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов,

$(f f_0 f_{0s})$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных фракталов и цепочек упорядоченных асимметричных фракталов,

$(f_r f_0 f_{0s})$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных фрактальных фрагментов,

$(f_n f_0 f_{0s})$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных наноструктурированных фракталов.

10. Класс апериодический квазифрактальный, подкласс  $F_{000s}^*$  состояния  $(f_0 f_0 f_{0s})$ :

$(f_0 f_0 f_{0s})$  – 3D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов.

11. Класс апериодический квазинаноразмерный, подкласс  $F_{000ss}^{**}$  состояния  $(f_0 f_{0s} f_{0s})$ :

$(f_0 f_{0s} f_{0s})$  – 3D апериодический 2D квазифрактальный 3D объект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов.

12. Класс апериодический квазифрактальный, подкласс  $F_{0ss}^*$  состояния  $(f_s f_s f_{0s})$ :

$(f_s f_s f_{0s})$  – 3D апериодический квазифрактальный 3D нанообъект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов.

13. Класс апериодический квазифрактальный, подклассы  $F_{0ss}$  и  $F_{0ss}^*$  состояния  $(f_0 f_s f_s)$ :

$(f_0 f_s f_s)$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов,

$(f f_s f_{0s})$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных фракталов,

$(f_r f_s f_{0s})$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных фрактальных фрагментов,

$(f_n f_s f_{0s})$  – 2D апериодический квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных наноструктурированных фракталов.

14. Класс апериодический квазифрактальный, подклассы  $F_{00ss}^*$  и  $F_{00ss}^{**}$  состояния  $(f_0 f_s f_{0s})$ :

$(f_0 f_s f_{0s})$  – 2D апериодический 2D квазифрактальный 3D объект из цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов,

$(f f_{0s} f_{0s})$  – 2D апериодический 2D квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных фракталов и цепочек упорядоченных асимметричных фракталов,

$(f_r f_{0s} f_{0s})$  – 2D апериодический 2D квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных фрактальных фрагментов,

$(f_n f_{0s} f_{0s})$  – 2D апериодический 2D квазифрактальный 3D объект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов и цепочек упорядоченных наноструктурированных фракталов.

15. Класс апериодический квазифрактальный, подкласс  $F_{000ss}^{**}$  состояния  $(f_0 f_{0s} f_{0s})$ :

$(f_0 f_{0s} f_{0s})$  – 3D апериодический 2D квазифрактальный 3D объект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов.

16. Класс апериодический квазифрактальный, подкласс  $F_{000ss}^{***}$  состояния  $(f_{0s} f_{0s} f_{0s})$ :

$(f_{0s} f_{0s} f_{0s})$  – 3D апериодический 3D квазифрактальный 3D объект из цепочек и слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных асимметричных фракталов.

**1D континуальные фрактальные классы** (9 подклассов, 20 состояний вида  $(\tau f f)$  или производные от него).

1. Класс фрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL$  состояния  $(\tau f f)$ :

$(\tau f f)$  – 3D континуально-фрактальный объект из упорядоченных 2D слоев асимметричных фракталов и 1D-континуумов,

$(\tau f_r f)$  – 3D континуально-фрактальный объект из упорядоченных цепочек асимметричных фракталов, 1D фрактальных фрагментов и 1D континуумов,

$(\tau f_r f_r)$  – 3D континуально-фрактальный объект из упорядоченных слоев 2D фрактальных фрагментов и 1D континуумов,

$(\tau f_n f_n)$  – 3D континуально-фрактальный объект из упорядоченных цепочек асимметричных фракталов, цепочек наноструктурированных фракталов и 1D континуумов,

$(\tau f_n f_n)$  – 3D континуально-фрактальный объект из упорядоченных слоев наноструктурированных фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур) и 1D континуумов,

$(\tau f_r f_n)$  – 3D континуально-фрактальный объект из упорядоченных цепочек наноструктурированных фракталов, фрактальных фрагментов и 1D континуумов.

2. Класс квазифрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_0$  состояния  $(\tau f f_0)$ :

$(\tau f f_0)$  – 3D континуально-квазифрактальный объект из разориентированных и позиционно упорядоченных цепочек асимметричных фракталов и 1D континуумов,

$(\tau f f_0)$  – 3D континуально-квазифрактальный объект из разориентированных и позиционно упорядоченных цепочек фрактальных фрагментов, асимметричных фракталов и 1D континуумов,

$(\tau f_v f_0)$  – 3D континуально-квазифрактальный объект из разориентированных и позиционно упорядоченных цепочек наноструктурированных фракталов, асимметричных фракталов и 1D континуумов.

3. Класс аperiодический фрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_s$  состояния  $(\tau f f_s)$ :

$(\tau f f_s)$  – 3D континуально-аperiодический фрактальный объект из цепочек позиционно упорядоченных асимметричных фракталов, аperiодических фракталов и 1D континуумов,

$(\tau f_r f_s)$  – 3D континуально-аperiодический фрактальный объект из позиционно упорядоченных цепочек фрактальных фрагментов, аperiодических фракталов и 1D континуумов,

$(\tau f_n f_s)$  – 3D континуально-аperiодический фрактальный объект из упорядоченных цепочек наноструктурированных фракталов, аperiодических фракталов и 1D континуумов.

4. Класс квазифрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_{00}$  состояния  $(\tau f_0 f_0)$ :

$(\tau f_0 f_0)$  – 3D континуально-квазинаноразмерный объект из квазислоев асимметричных фракталов и 1D континуумов.

5. Класс аperiодический фрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_{ss}$  состояния  $(\tau f_s f_s)$ :

$(\tau f_s f_s)$  – 3D континуально-аperiодический наноразмерный объект из аperiодических слоев асимметричных фракталов и 1D континуумов.

6. Класс аperiодический квазифрактальный 1D континуальный, подклассы  $FL_{0s}$  и  $FL_{0s}^*$  состояния  $(\tau f_s f_0)$ :

$(\tau f_s f_0)$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из цепочек аperiодических фрактальных и квазифрактальных объектов и 1D континуумов,

$(\tau f f_{0s})$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из цепочек аperiодических квазифрактальных объектов, асимметричных фракталов и 1D континуумов,

$(\tau f_r f_{0s})$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из цепочек аperiодических квазифрактальных объектов, фрактальных фрагментов и 1D континуумов,

$(\tau f_n f_{0s})$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из цепочек аperiодических квазифрактальных объектов, наноструктурированных фракталов и 1D континуумов.

7. Класс аperiодический квазифрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_{0ss}^*$  состояния  $(\tau f_s f_{0s})$ :

$(\tau f_s f_{0s})$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из цепочек аperiодических фрактальных и периодических квазифрактальных объектов и 1D континуумов.

8. Класс аperiодический квазифрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_{00s}^*$  состояния  $(\tau f_0 f_{0s})$ :

$(\tau f_0 f_{0s})$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из цепочек аperiодических и периодических квазифрактальных объектов и 1D континуумов.

9. Класс аperiодический квазифрактальный 1D континуальный, подкласс  $FL_{00ss}^{**}$  состояния  $(\tau f_{0s} f_{0s})$ :

$(\tau f_{0s} f_{0s})$  – 3D континуально-аperiодический квазифрактальный объект из слоев аperiодических квазифрактальных объектов и 1D континуумов.

**2D континуальные фрактальные классы** (4 подкласса, 6 состояний вида  $(\tau \tau f)$  или производные от него).

1. Класс фрактальный 2D континуальный, подкласс  $Fl$  состояния  $(\tau \tau f)$ :

$(\tau \tau f)$  – 3D континуально-фрактальный объект из позиционно упорядоченных цепочек асимметричных фракталов и 2D континуумов,

$(\tau \tau f_r)$  – 3D континуально-фрактальный объект из позиционно упорядоченных цепочек фрактальных фрагментов и 2D континуумов,

$(\tau \tau f_n)$  – 3D континуально-фрактальный объект из позиционно упорядоченных цепочек наноструктурированных фракталов и 2D континуумов.

2. Класс квазифрактальный 2D континуальный, подкласс  $Fl_0$  состояния  $(\tau \tau f_0)$ :

$(\tau \tau f_0)$  – 3D континуально-квазифрактальный объект из позиционно упорядоченных квазифрактальных цепочек асимметричных фракталов и 2D континуумов.

3. Класс аperiodический фрактальный 2D континуальный, подкласс  $Fl_s$  состояния  $(\tau \tau f_s)$ :

$(\tau \tau f_s)$  – 3D континуально-аperiodический фрактальный объект из позиционно упорядоченных аperiodических цепочек асимметричных фракталов и 2D континуумов.

4. Класс аperiodический квазифрактальный 2D континуальный, подкласс  $Fl_{0s}^*$  состояния  $(\tau \tau f_{0s})$ :

$(\tau \tau f_{0s})$  – 3D континуально-аperiodический квазифрактальный объект из позиционно упорядоченных аperiodических квазифрактальных цепочек асимметричных фракталов и 2D континуумов.

**3D континуальный класс** (1 подкласс, 1 состояние вида  $(\tau \tau \tau)$ ).

1. Класс аperiodический 3D континуальный, подкласс V состояния  $(\tau \tau \tau)$ :

$(\tau \tau \tau)$  – 3D континуум.

Последнее состояние – непрерывная среда и формально не является структурным состоянием.

Таким образом, получены комплексные структурные состояния, которые характеризуют фракталы, квазифракталы, аperiodические фракталы, 1D и 2D-континуум содержащие фракталы, а также фрактальные объекты комбинированных состояний. Предполагается, что некоторые из этих структурных состояний могут описывать результаты проявления определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционных материалов и покрытий [29-35]. Данные состояния были, в частности, использованы при определении величины эффекта синергизма при трении и износе некоторых композиционных покрытий [43-47, 49].

### Выводы

Рассмотрены особенности организации возможных состояний многокомпонентных детерминистических модулярных структур фрактальных объектов класса  $(f f f)$  с дискретными и континуальными компонентами. Предложена классификация возможных состояний данных многокомпонентных структур фрактальных и квазифрактальных подклассов. Показана принципиальная возможность существования восьмидесяти трех комплексных структурных состояний, которые характеризуют состояния в гибридных фракталах  $(f f f)$ , квазифракталах  $((f_0 f f), (f_0 f_0 f), (f_0 f_0 f_0))$ , аperiodических

фракталах  $((f_s f f), (f_s f_s f), (f_s f_s f_s))$ , 1D и 2D континуум содержащих фрактальных объектах  $((\tau f f), (\tau \tau f))$  и возможные их комбинации. Предполагается, что некоторые из проанализированных вариантов состояний могут быть аппроксимантами результатов реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционных материалов и покрытий при трении и износе.

### Список литературы

1. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. Формирование линейчатых фрактальных структур с необходимыми характеристиками в 2D пространстве // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 10. – С.158-160.
2. 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.
3. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. Возможные комплексные компоненты состояний фрактального гибридного  $(f f f)$  класса детерминистических модулярных структур композитов // Успехи соврем. естествознания, 2015. – № 1. – С.16-18.
4. Иванов В.В. Принципы формирования регулярных простых фрактальных структур // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – № 7-1. – С.35-37.
5. Иванов В.В. Общая характеристика возможных гибридных мономодулярных фрактальных структур // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 5. – С.29-31.
6. Иванов В.В. Описание и классификация точечных мономодулярных фрактальных структур // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 8. – С.134-135.
7. Иванов В.В. Формирование фрактальных структур на основе итерационной последовательности и канторова множества точек с заданными характеристиками в 1D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 8. – С.136-137.
8. Иванов В.В. Анализ возможности получения новых точечных и квазиточечных фрактальных структур на основе итерационной последовательности и канторова множества // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 8. – С.129-130.
9. Иванов В.В. Формирование и символическое описание детерминистических гибридных фрактальных структур в 1D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 11. – С.61-65.
10. 7-5. Иванов В.В. Формирование и символическое описание детерминистических гибридных фрактальных структур в 2D пространстве // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 9 – С.89-93.
11. Иванов В.В. Формирование полигонных фрактальных структур с необходимыми характеристиками в 2D пространстве // Соврем. наукоемкие технологии, 2013. – № 10. – С.161-163.
12. Иванов В.В. Детерминистические фракталы на основе итерационной последовательности точек в 2D пространстве // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – № 7-1. – С.28-30.
13. Иванов В.В. Детерминистические фракталы на основе канторова множества и итерационной последовательности точек в 2D пространстве // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – № 7-1. – С.31-33.
14. Иванов В.В. Компактные детерминистические гибридные структуры на основе двух взаимопроницающих фрактальных подрешеток на квадратной сетке // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – № 7-1. – С.30-31.



15. Иванов В.В. Гиперкомпактные детерминистические гибридные структуры на основе множества взаимопроникающих фрактальных подрешеток на квадратной сетке // *Международ. науч.-иссл. журнал*, 2013. – № 7-1. – С.33-35.
16. Иванов В.В. Возможные структурные состояния детерминистических модульных структур с фрактальной компонентой в 2D пространстве // *Международ. науч.-иссл. журнал*, 2013. – № 7-1. – С.26-28.
17. Иванов В.В. Возможные изосимметричные и деформационные модификации детерминистических модульных структур из фракталов  $FV$ ,  $F(IC(1/2))$  и  $F(CM(1/3))$  в 2D пространстве на квадратной сетке // *Международ. науч.-иссл. журнал*, 2013. – № 8-1. – С.25-27.
18. Иванов В.В. Фрактальные структуры как возможные абстракции сайз-распределения фаз и конфигурации межфазных границ на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Международ. журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2013. № 10 (3). – С.493-494.
19. Иванов В.В. Возможные пространственные компоненты структурных состояний поверхности композиционных материалов и покрытий // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С.126-128.
20. Иванов В.В. Комплексные компоненты состояний кристаллического фрактального наноразмерного класса детерминистических модульных структур композитов // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 12. – С.84-90.
21. Иванов В.В. Возможные комплексные компоненты состояний  $(r\ f\ f)$  и  $(r\ f\ f)$  классов детерминистических модульных структур композитов // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 12 (2). – С.94-97.
22. Иванов В.В. Возможные структурные состояния детерминистических модульных структур с фрактальной компонентой в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 4. – С.105-108.
23. Иванов В.В. Пространственные компоненты структурных состояний детерминистических модульных структур композиционных материалов с фрактальной компонентой в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 12. – С.90-93.
24. Иванов В.В. Принципы формирования структурных состояний из фрактальных компонент с учетом полугрупповых свойств множества соответствующих 1D генераторов // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С.100-104.
25. Иванов В.В. Формирование и символическое описание детерминистических гибридных и кентавроподобных фрактальных структур в 2D пространстве // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. – № 10 (3). – С.468-471.
26. Иванов В.В. Возможные состояния модульных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 8. – С.24-27.
27. Иванов В.В. Возможные состояния распределения модульных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов в объеме антифрикционных композиционных материалов // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 5. – С.16-19.
28. Иванов В.В. Структурные состояния вероятных наноразмерных фрагментов и структур квазикристаллов и аperiодических кристаллов // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. – № 8 (5). – С.896-899.
29. Иванов В.В., Попов С.В. Фазово-разупорядоченное состояние поверхности антифрикционных и износостойких композиционных покрытий // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. – № 10 (3). – С.464-467.
30. Иванов В.В. Комплексные структурные состояния как формализованное представление вариантов реализации фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционного материала при трении и износе // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 6. – С.15-18.
31. Иванов В.В. Описание возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и вариантов характера их сайт и сайз-распределений на поверхности композиционного материала или покрытия при трении и износе // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 7. – С.30-33.
32. Иванов В.В. Размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную и наноразмерную компоненту // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С.121-123.
33. Иванов В.В. Вероятное влияние размерных параметров возможных многокомпонентных структурных состояний системы на ее свойства // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С.124-125.
34. Иванов В.В. Возможные линейные зависимости аддитивного свойства комплексного объекта от его размерности // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. № 1 (8). – С.1339-1341.
35. Иванов В.В. Возможные зависимости для описания влияния размерности объекта на его удельные характеристики в 4D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. № 1 (8). – С.1342-1344.
36. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. Эволюционная модель формирования и анализ детерминистических фрактальных структур // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 4. – С.230-232.
37. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение и структурирование пространства, описание процесса формирования модульного кристалла // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 8. – С.75-77.
38. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение структурированного 3D пространства на модульные ячейки и моделирование невырожденных модульных структур // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 10. – С.78-80.
39. Иванов В.В., Таланов В.М. Формирование структурного модуля для модульного дизайна в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 9. – С.74-77.
40. Иванов В.В., Таланов В.М. Принципы модульного строения регулярных фрактальных структур // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 3. – С.56-57.
41. Иванов В.В., Таланов В.М. Конструирование фрактальных наноструктур на основе сеток Кеплера-Шубникова // *Кристаллография*, 2013. – Т.58. № 3. С. 370–379.
42. Janot Ch., Dubois J.-M., De Boissien M. Quasiperiodic structures: Another type of long-range order for condensed matter. *Am. J. Phys.*, 1989. V.57, N.11. P.972-987.
43. Ivanov V.V. General characteristic of the possible hybridic monomodal fractal structures // *Global Science and Innovation: materials of the I Int. Conf., Vol.II.* – Chicago, USA, 2013. – P.108-110.
44. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1/LL<sub>o</sub>/CM2 // *International journal of experimental education*, 2014. – № 4. – Part 2. – p.58-59.
45. 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.
46. 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.
47. 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, 2 – pp. 203-206.
48. Levine D., Steinhardt P.J. Quasicrystals. I. Definition and structure. *Phys. Rev. B.*, 1986. V.34, N.2. P.596-616.
49. Scherbakov I.N., Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional Ni-P-coatings // *European Journal of Natural History*, 2015. – № 3. – С.48.
50. Socolar J.E.S., Steinhardt P.J. Quasicrystals. II. Unit-cell configuration. *Phys. Rev. B.*, 1986. V.34, N.2. P.617-647.