

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.05.3>

Куликов В.Г.

Кандидат технических наук, доцент,  
Московский Государственный Строительный Университет

## ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯЧЕЙСТЫХ СТРУКТУР ФУНКЦИЯМИ СОСТОЯНИЯ

### *Аннотация*

*В работе рассмотрена возможность представления ситуаций состояния ячеистых структур функциями состояния в виде уравнений регрессии. Это позволяет создать информационный слепок с носителя информации о состоянии системы в данный момент времени. Процесс переходов системы из начального состояния в конечное предлагается формализовать последовательной совокупностью уравнений регрессии. Уравнения регрессии, как функции состояния позволяют вербальный процесс представления состояний системы заменить – модельным. А это, в свою очередь позволяет разрабатывать параметрические методы управления формированием структуры.*

**Ключевые слова:** ячеистые структуры, текстура, функция состояния, уравнение регрессии.

Kulikov V.G.

PhD in Engineering, associate professor,  
Moscow State University of Civil Engineering

## JUSTIFICATION OF CRITERION OF CELLULAR STRUCTURES IDENTIFICATION BY STATE FUNCTIONS

### *Abstract*

*The paper considers the possibility of presenting situations of states of cellular structures functions by states in the form of regression equations. This allows to create a copy of an information storage with the system status at a given time. It is proposed to formalize a system transition process from the initial to final states by a coherent set of regression equations. The regression equations as state functions allow to replace the verbal process of system states representation with the model one. This, in turn, it allows to develop the parametric methods of structure formation control.*

**Keywords:** cellular structures, texture, state function, regression equation.

Задачей настоящей работы является разработка вариантов информационных моделей ячеистых материалов на основе текстурного анализа в процессе кинетики бетоно-растворной смеси в искусственный камень.

Под «текстурой» будем понимать следующее определение: Текстура, - это изображение, воспроизводящее визуальные свойства каких-либо поверхностей или объектов. В отличие от рисунка, к текстуре не применяются нормы и требования композиции. Текстура сама по себе художественным произведением не является. Но в некоторых случаях, - может выступать доминантой в художественном произведении.

Именно поэтому будем сознательно акцентировать внимание на композиционных особенностях изучаемых текстур, с целью выявления имеющихся зависимостей при их переходах из одного фазового состояния в другое. Попробуем представить кинетику процесса - переходными функциями.

Текстуры, используемые в работе, получены фотографированием процесса твердения ячеистого бетона на цифровую фотокамеру с последующей опциональной обработкой в графическом редакторе Image J.

Будем считать представленную на рис.1(а,в,с) текстуру смеси исходных компонентов системы заданного состава, как начальную фазу формирования структуры бетона. Также, представленную текстуру №1 на рис.1а можно считать хаотичной структурной композицией с определёнными, неярко выраженными доминантами. Рассматривая весь процесс формирования структуры, как ряд последовательных переходов отдельных состояний исходной системы в конечный продукт, представим его превращением хаотичных структур в упорядоченные. На рис.1в хаотичная система определенным образом, в соответствии с принятой технологией производства - упорядочивается.

Безусловно, что инструментом упорядочивания должен являться регламент производства. Начальное состояние системы будем идентифицировать функцией состояния  $F(i)$ . Конечное –  $F(j)$ .

В настоящей работе в основу формирования функций состояния предлагается вводить критерий, представляющий собой соотношение между интенсивностью диспозиций материальных элементов различных фаз среды к дистанционному фактору доменов и кластеров формируемых структур. Конечное представление функций состояния текстур будем представлять в виде конкретных регрессионных уравнений.

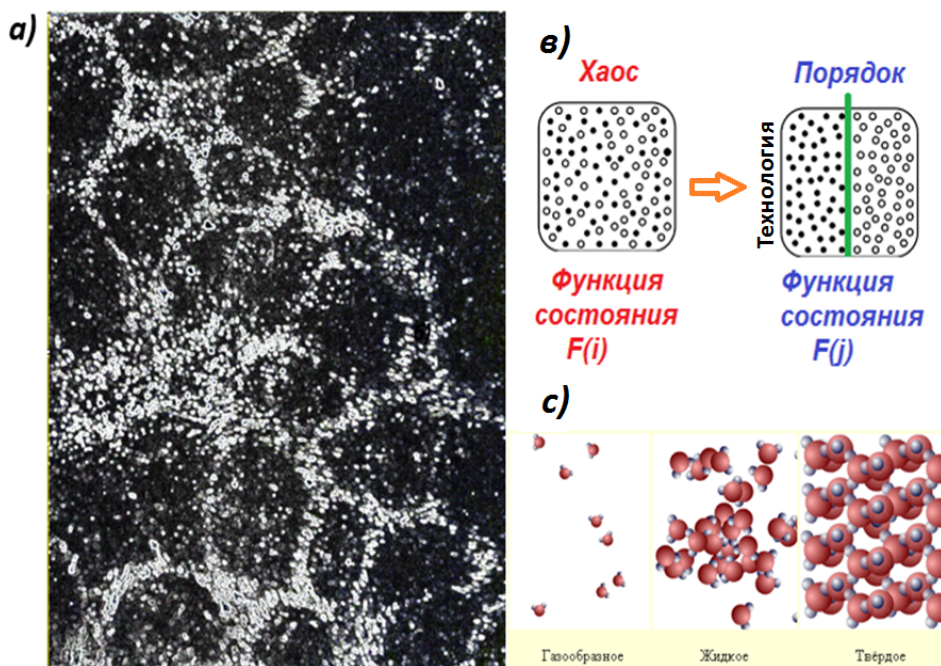


Рис. 1 – Текстура №1, как динамическая система

Обрисованную на рис.1 текстуру №1, в т.ч. как динамическую систему, будем считать многофазными взаимопроникающими друг в друга континуальными множествами - жидкого, твёрдого, газообразного. Поставим им в соответствие функции состояния в виде уравнений регрессии.

В кинетике формирования структуры выделим следующие положения:

1) Образование агрегатов из частиц твёрдой фазы. Это наблюдается на рис.2 а) и в) тогда, когда энергий достаточно для преодоления частицами энергетического барьера и перехода в область дальней или ближней потенциальных ям. Энергетическая кинетика агрегации солевых кластеров дисперсных систем аргументируется рис.3

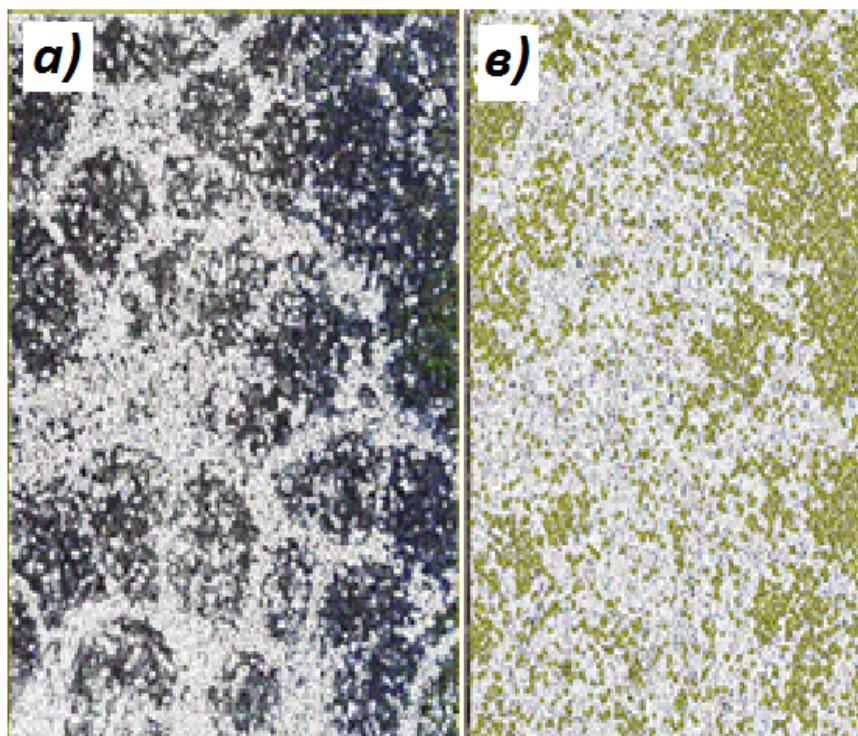


Рис. 2 – Визуализация агрегирования частиц доменами в кластеры по результатам обработки текстуры №1

2) Агрегации и формирования гидролизующихся солевых кластеров системы различных размеров. Эффективность агрегации зависит от реальных размеров частиц фаз и расстояний между ними,

Обоснование ранее упомянутого критерия функции состояния, как зависимость энергии от расстояния между частицами (не важно - атомами, молекулами, фазами) автор аргументирует следующим образом:

- а) При приложении внешнего давления, внешняя сила частицы пропорционально надавит на систему.
- в) Жидкость затворения систем, представляющая собой очень большое количество (тысячи и т.д.) частиц нано размеров (нанокристаллов), - как несжимаемая среда, - по сути, и является проводником внешних воздействий.

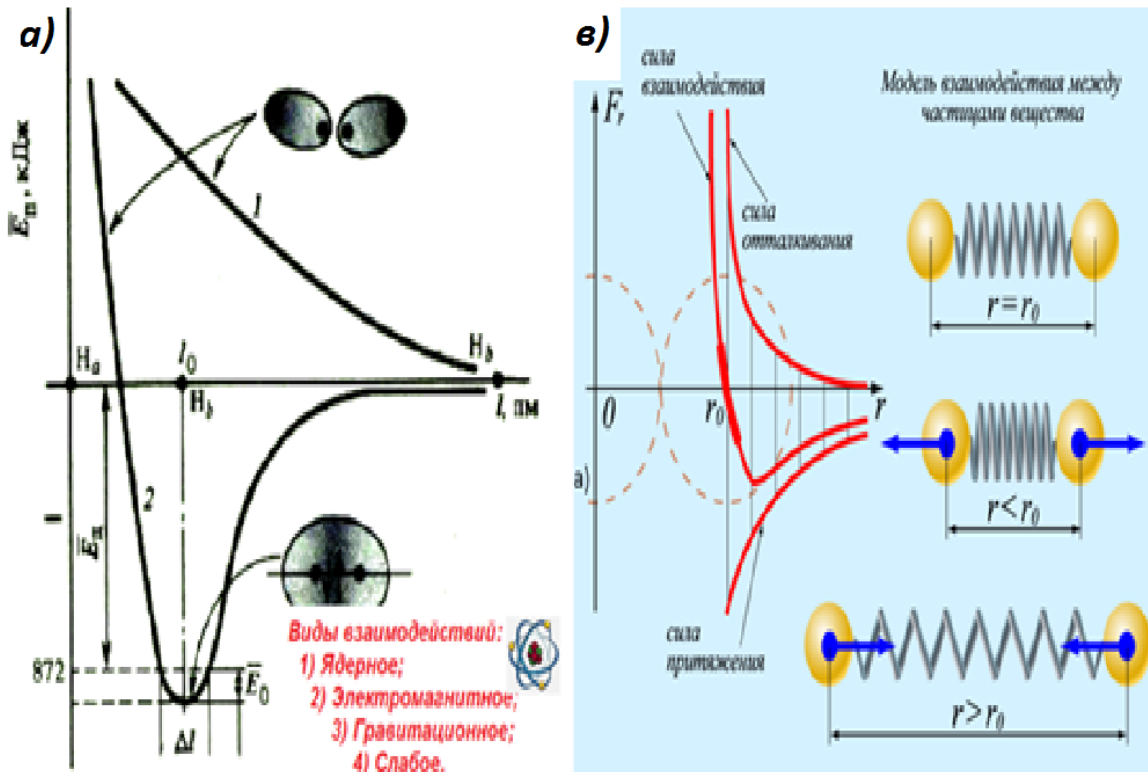


Рис. 3 – Энергетическая кинетика агрегации солевых кластеров дисперсных систем

Таким образом, чем меньше в «нанокристаллах» будет дефектов и чем большими по размерам они будут, - тем большая средняя плотность будет системы.

Следовательно, - при приложении внешнего давления на указанные области, (области единицы структуры, - т.е. кластеры и домены) они, - эти кластеры, - должны увеличивать степень агрегирования системы.

3) Увеличение степени гидратации частиц вязющего, образование агрегатов из пузырьков газовой фазы и твёрдых частиц, т. е. минерализация газовых пузырьков.

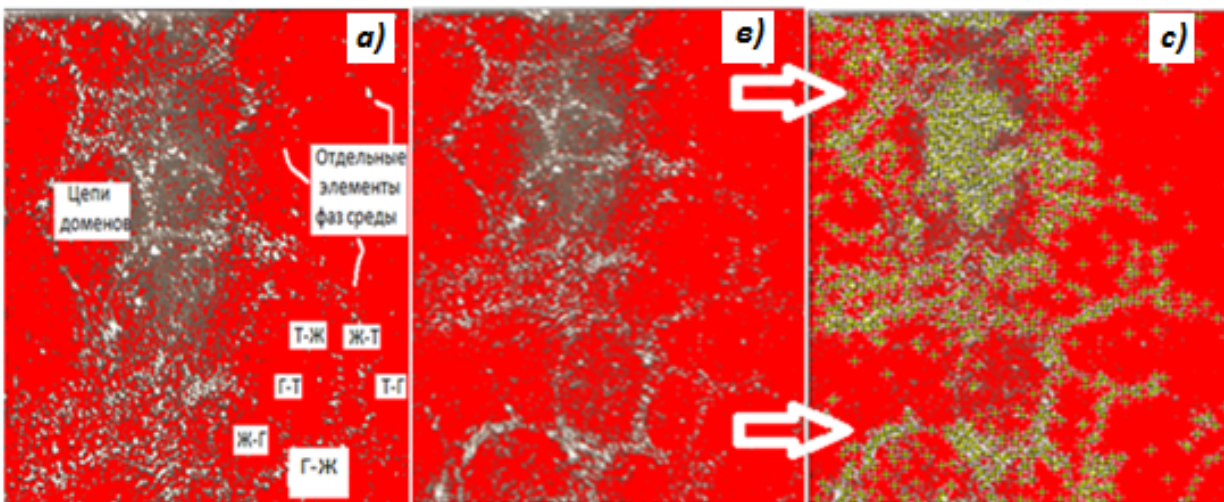


Рис. 4 – Иллюстрация вероятных фазовых переходов и возможных изменений фазовых состояний системы (а); цепочки доменов формирующие кластеры газо-воздушной структуры (в) и (с)



В работе, на основе текстурного анализа оцениваются и идентифицируются фазовые состояния динамических структур соответствующими функциями регрессии  $F^{регрессии}(I,j)$ . Функцией регрессии с определённой степенью адекватности ( $R^2$ ) даётся оценка свершения самого факта фазового перехода:

$$T \rightarrow Ж, Ж \rightarrow T, Ж \rightarrow Г, Г \rightarrow Ж, T \rightarrow Г, Г \rightarrow T \quad (1)$$

как:

$$\begin{aligned} F^{регрессии}(T) \rightarrow F^{регрессии}(Ж), F^{регрессии}(Ж) \rightarrow F^{регрессии}(T) \\ F^{регрессии}(Г) \rightarrow F^{регрессии}(Ж), F^{регрессии}(Ж) \rightarrow F^{регрессии}(Г) \\ F^{регрессии}(Г) \rightarrow F^{регрессии}(T), F^{регрессии}(T) \rightarrow F^{регрессии}(Г) \end{aligned} \quad (2)$$

Очевидно то, что совершенствование методов, средств и технологий указанных оценок повысит их точность.

В зависимости от вида и состояния поверхности пузырьков, наличия адсорбционных слоёв ПАВ и т.п., на наш взгляд, - возможны следующие ситуации в процессе кластеризации систем:

- а) Не прилипание частицы к поверхности доминанты кластеризации;
- б) Прилипание частицы к поверхности, что может означать образование единой газо-твёрдой фазы;
- в) Разрушение частицей пузырька и, его дробление на ещё более мелкие объёмы.

Под «разрушением» пузырька или кластера будем понимать возникновение в них напряжений превышающих критические, либо возникновение критических деформаций в формирующейся перемычке;

г) Присоединение твёрдых частиц к пузырьку с образованием газо-твёрдого кластера; Таким образом, последующие частицы будут прилипать не к соответствующему соседнему газовому пузырьку, а к окружающим его частицам.

4) В дальнейшем, (поскольку размеры частиц фаз чрезвычайно малы) непосредственным взаимодействием между частицами твёрдой фазы можно пренебречь;

Процесс формирования структуры пенобетонной смеси является нестационарным и связан с явлениями перераспределения фаз, их агрегацией, дроблением, межфазным взаимодействием. Отдельные фазы имеют сильно развитую поверхность.

Частицы фазы и газовых пузырьков можно разделить на классы. Каждый класс частиц характеризуется собственными геометрическими и статистическими характеристиками, линейным размером, например диаметром, консистенцией и т.п., На рис.4 представлен процесс агрегирования отдельных доменов фаз и цепочек из них в кластеры структуры системы различных размеров. Причём отчётливо наблюдается процесс заполнения пространства продуктами гидратации.

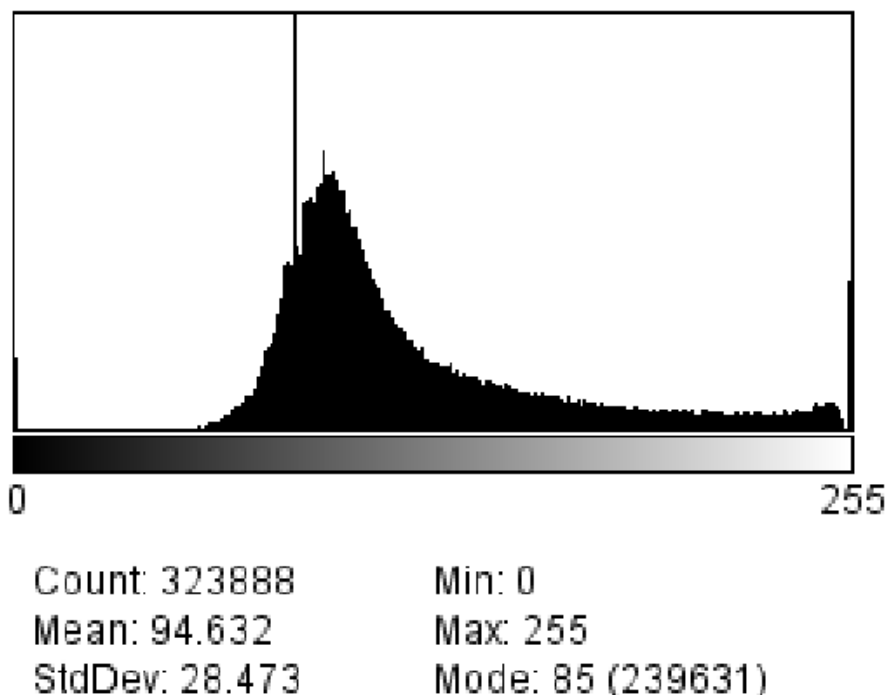


Рис. 5 – Гистограмма распределения размеров частиц фаз и их статистические характеристики текстуры №1

Совокупность классов позволяет применять к ним современные методы анализа данных, осуществлять их графическую интерпретацию и на этой основе осуществлять прогноз. А на основе прогноза – разрабатывать способы и методы управления процессом формирования структуры.

Например, сочетание классов частиц и пузырьков позволяет определять интенсивность процессов преобразований. Очевидно, что в таком процессе массообмена основную роль будут играть частицы с более развитой поверхностью. В соответствии с теорией ДЛФО<sup>1</sup>, основную роль выполняют электрокинетические потенциалы и адсорбционные слои ПАВ, что собственно находит своё подтверждение представлениями, приведенными на рис.3.

Соответствующая оценка характеристик размеров отдельных фаз текстуры №1 и состояние поверхности приведена на рис.5 и 6. На развитость поверхности указывает пикообразная форма линии кривой распределения размеров частиц фаз по длине рассматриваемого участка текстуры.

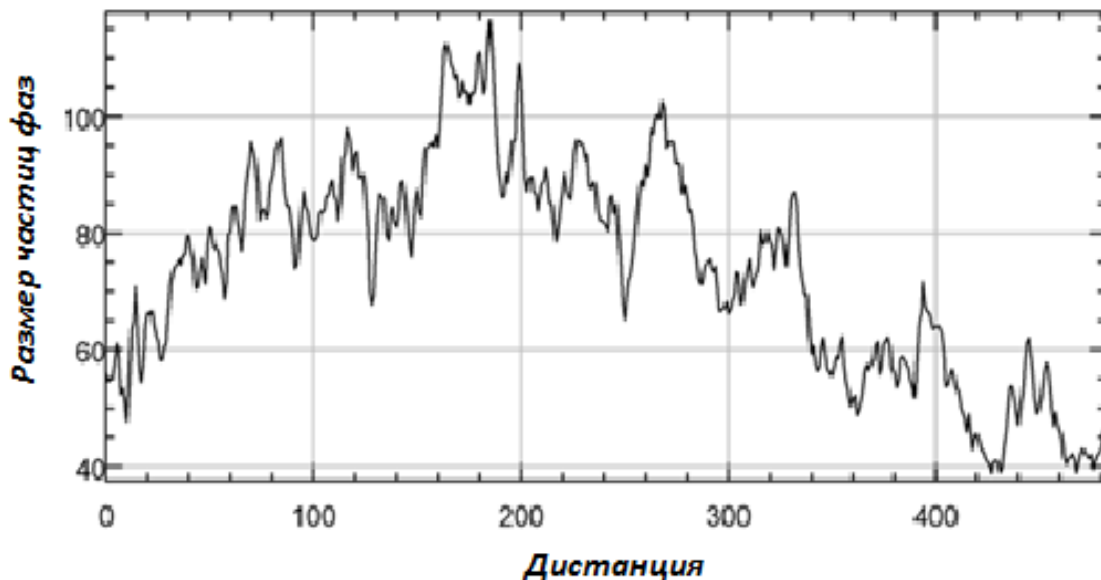


Рис. 6 – Распределение размеров частиц фаз по длине участка текстуры №1

На основе приведенных данных разработана модель объёмного строения представленной структуры, рис.7. Модель приведена в двух градациях цвета, а) - в естественном цвете, соответствующем цвету исходной фотографии начального состояния системы и, в) - в цвете. Модель построена изолиниями, позволяющими оценивать линейные и масштабные факторы представления композиции текстуры

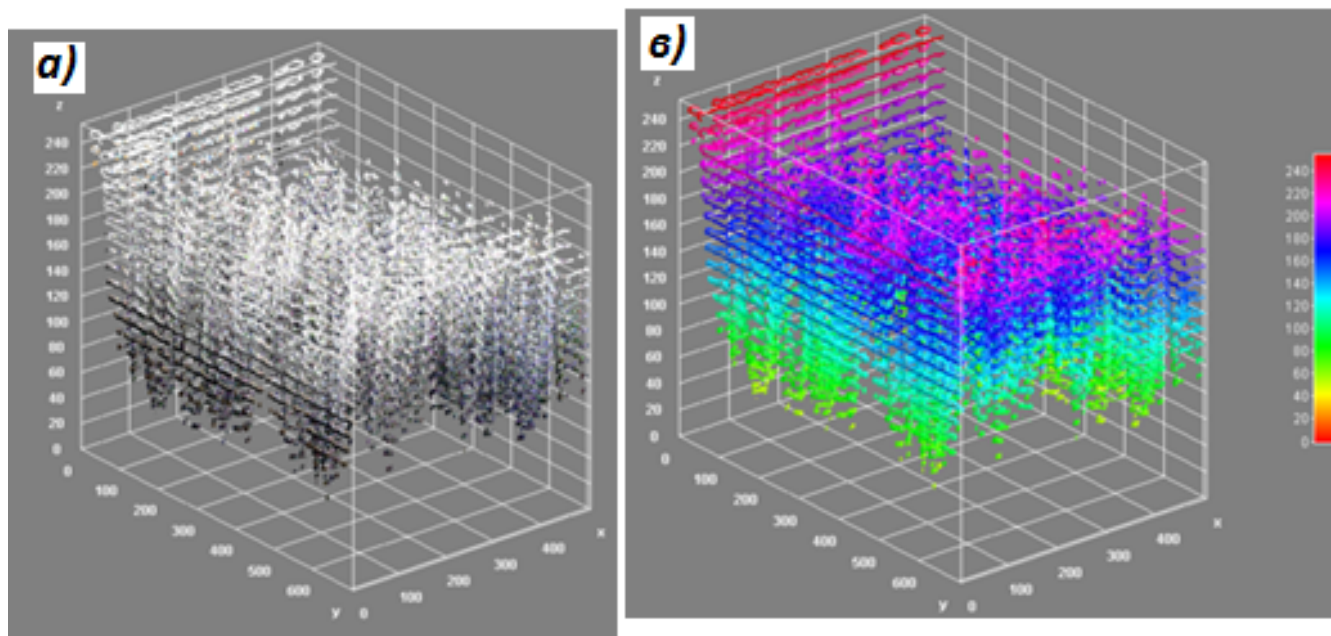


Рис. 7 – Объёмная модель строения системы заданного состава текстуры №1

<sup>1</sup>Теория ДЛФО (сокр.от теория Дерягина, Ландау, Фервея, Овербека), также теория агрегативной устойчивости лиофобных дисперсных систем — физическая теория, объясняющая агрегативную устойчивость лиофобных дисперсных систем

Моделирование внутреннего строения структуры систем позволяет разрабатывать критерии оценки свойств систем для прогноза поведения системы на протяжении всего жизненного цикла эксплуатации. Помимо этого, на основе предложенного в работе критерия:

$$K_1 = \frac{\text{Усреднённый размер частиц}}{\text{Дистанция между частицами}} \quad (3)$$

т.е. соотношения между дистанциями между частицами фаз и их размерами рассчитаны функции регрессии, как эталоны соответствия исследуемых текстур друг другу. На этом основании различные текстуры характеризующие определённые состояния системы возможно сравнивать друг с другом и в их динамике поведения.

На рис.8 представлен результат обработки огромного массива статистики текстуры №1, в данном случае состоявшего из 323'888 единиц размеров фаз исследуемой текстуры.

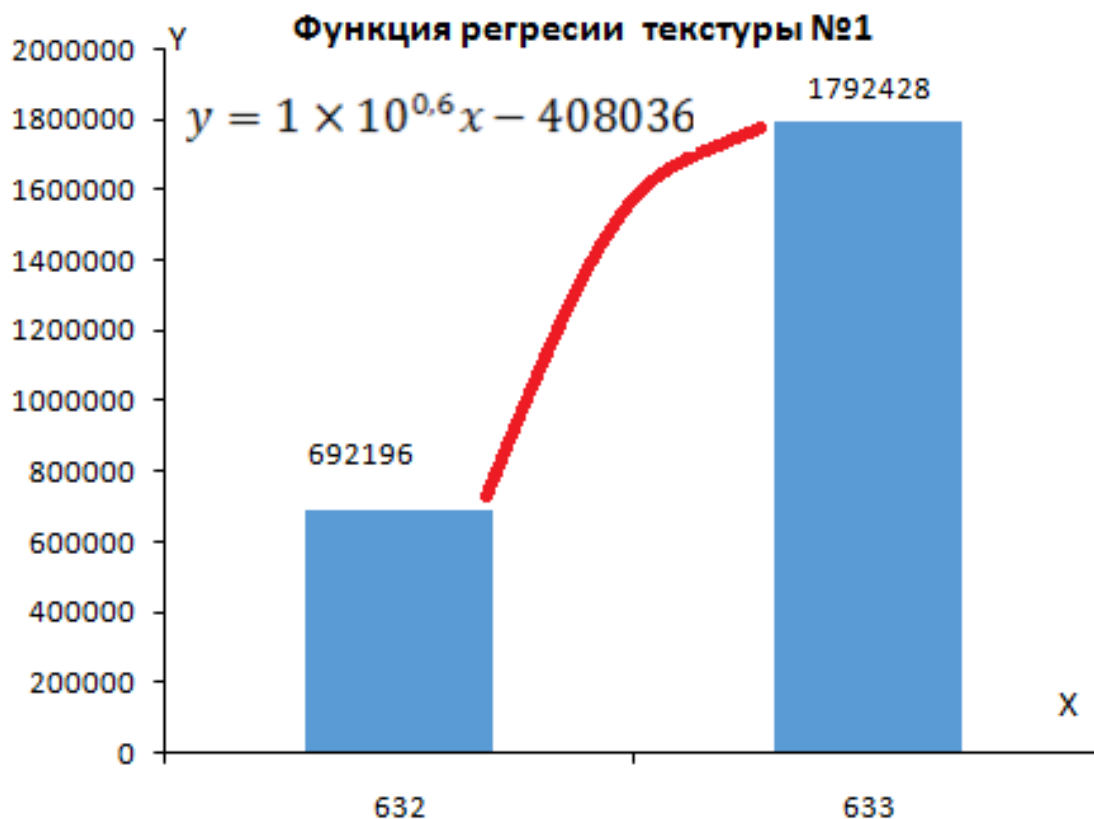


Рис. 8 – Функция состояния текстуры №1 в виде функции регрессии

Представленный на рис.8 результат в виде уравнения регрессии будем считать функцией состояния динамической системы в данный момент состояния.

Если текущее состояние системы не является конечным, и возможен последующий переход системы в новое состояние, то это новое состояние по вышеприведенной методике можно тоже привести к оценке его конечного состояния соответствующей функцией регрессии.

Формализация этих переходов уравнениями регрессии даёт возможность формализации таким образом всей цепочки переходов, т.е. от начального и до конечного состояния системы

#### Литература

1. ГОСТ 18105–86\* Бетоны. Правила контроля прочности. –М.: Издательство стандартов, 1986. –16 с. 4.
2. ГОСТ 22690–88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Издательство стандартов, 1988. –17 с. 5.
3. ГОСТ 25192–82\* Бетоны. Классификация и общие технические требования. –М.: Издательство стандартов, 1982. –8 с. 6.
4. ГОСТ 28570–90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 12 с. 7.
5. ГОСТ 22783–77 Бетоны. Метод ускоренного определения прочности на сжатие. –М.: Издательство стандартов, 1990. –8 с
6. Ячеистая структура пенобетона и его прочность, <http://iv-stroy.ru;>

7. Основы формирования оптимальной структуры теплоизоляционных неавтоклавных пенобетонов, <http://www.allbeton.ru/article/343.html>;

#### References

1. GOST 18105-86\* Pravila kontroliya prochnosti [Concretes. Rules of Strength Control] -M.: Standards Publishing House, 1986. -16 p. 4. [In Russian]
  2. GOST 22690-88 Betony. Opredeleniye prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontroliya [Concrete. Determination of mechanical strength with NDT methods. - M.: Standards Publishing House, 1988 -17 p. 5. [In Russian]
  3. GOST 25192-82\* Betony. Klassifikatsiya i obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya [Concrete. Classification and General Technical Requirements]. -M.: Standards Publishing House, 1982. -8 p. 6. [In Russian]
  4. GOST 28570-90 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po obraztsam, otobrannym iz konstruksiy [Concrete. Methods for Strength Determination on Samples Taken from Structure.] - M.: Standards Publishing House, 1990. - 12 p. 7. [In Russian]
  5. GOST 22783-77 Betony. Metod uskorenogo opredeleniya prochnosti na szhatiye [Concrete. Method of Compressive Strength Test] -M .: Standards Publishing House, 1990. – 8 p. [In Russian]
  6. Yacheistaya strukture nobetona i ego prochnost [Cellular Foam Structure and Its Strength] <http://iv-stroy.ru>; [In Russian]
  7. Bases of formation of optimum structure of heat-insulating non-autoclave concrete, <http://www.allbeton.ru/article/343.html>;
- 
-