

где $Bell$ – функция, возвращающая n -ое число из последовательности чисел Белла.

Минимально возможное число элементов результирующей базы знаний, на которые отображены элементы исходных баз знаний, можно выразить:

$$V_{\min} = |V(G)| - \max \bigcup_{R \in I(G)} \left\{ \sum_{S \in Z} (|S| - 1) \mid Z = \{ \{i\} \cup Y \mid Y = \{x \mid (x, i) \in R\} \} \right\}.$$

Чтобы получить наиболее качественную базу знаний, необходимо выяснить, являются ли потенциально синонимичные элементы синонимами или не являются. Если вероятность получить отрицательный ответ о синонимии элементов высока, то тогда с целью повышения качества результирующей базы знаний необходимо выбирать для задания на подтверждение или отрицание синонимии такую пару элементов $e_{ij} = (i, j)$, для которой верно следующее:

$$\begin{aligned} \dot{e}_{ij} & \in \{x \mid \{R \mid in(x) \cap R \neq \emptyset\} \cap I(G)\} = \\ & = \max_y \left\{ \{R \mid in(y) \cap R \neq \emptyset\} \cap I(G) \right\}, \end{aligned}$$

где in – функция, возвращающая для указанного элемента, множество элементов семантической окрестности по входящим дугам.

Если же высока вероятность получить положительный ответ о синонимии элементов, то тогда с целью повышения качества результирующей базы знаний рекомендуется выбирать такие элементы для задания, для которых верно:

$$\dot{e}_{ij} \in \left\{ x \mid \sum_{R \in \{S \mid in(x) \cap S \neq \emptyset\} \cap I(G)} |R| = \max_y \left\{ \sum_{R \in \{S \mid in(y) \cap S \neq \emptyset\} \cap I(G)} |R| \right\} \right\}.$$

В последнем случае нет гарантии, что выбранная таким способом пара элементов при положительном ответе приведёт к минимальному числу формулируемых заданий. Однако такое требование предлагается в качестве некоторого приближения к оптимальному решению.

Следует отметить что, несмотря на возможность выполнения этих требований, не для всех пар элементов можно понятно сформулировать требуемое задание на подтверждение или отрицание синонимии. Соответственно, тогда должны выбираться пары таких

элементов, для которых имеются термины (внешние обозначения), относящиеся к языку разработчика, с которым ведётся диалог.

Заключение. Особенности и достоинства предложенной технологии проектирования баз знаний являются: унифицированное представление баз знаний и их фрагментов; перенос акцента от традиционной инженерии баз знаний к интеграции баз знаний, т.е. к сборке баз знаний из крупных модулей, основывающейся на унифицированной модели баз знаний; обеспечение совместимости разрабатываемых баз знаний; использование визуальных методов проектирования; инструментальные средства проектирования баз знаний рассматриваются как система, имеющая пользовательский интерфейс, машину обработки знаний и базу знаний, разработанную в соответствии с данной технологией. База знаний инструментальных средств проектирования баз знаний хранит программы операций редактирования, верификации и отладки, интеграции, а также образцы навигационных вопросов и конструкции гипермедийного языка для хранения исходных текстов баз знаний.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000.
2. Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / В.В. Голенков [и др.]; под ред. В.В. Голенкова. – Минск: БГУИР, 2001.
3. Инструментальные средства разработки баз знаний. / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение образовательная среда XXI века: Материалы VI Междунар. науч.-метод. конференции, 22–23 нояб. – Минск. – 2007. – С. 182–185.
4. Ivashenko, V. Applications of optimization methods for search of semantic network constructions. / Ivashenko V. // Abstracts of the Conference of the European Chapter on Combinatorial Optimization ECCO XVIII, Minsk, Belarus, May 26–28, 2005. – Minsk. – 2005. – P. 23–24.
5. Язык описания синтаксических правил для однородных семантических сетей. / В.П. Ивашенко // Дистанционное обучение образовательная среда XXI века: Материалы VI Междунар. науч.-метод. конференции, 22–23 нояб. – Минск. – 2007. – С. 185–188.
6. Интеграция знаний в информационных системах. / Н.А. Гулякина, В.П. Ивашенко // Доклады БГУИР. – 2004. – №6. – С. 113–119.

Материал поступил в редакцию 22.10.09

IVASHENKO V.P. Algorithms of verification and integration of bases of knowledge

The description making semantic technology of designing of bases of knowledge is given: models of bases of knowledge constructed on the basis of semantic networks, means of automation of designing of bases of knowledge, including algorithms of verification and integration of fragments of bases of knowledge. For the decision of a task of integration the methods of the theory of sets are used. The application of results of algorithm for reduction of pairs potential synonyms in base of knowledge is considered.

УДК 530.1

Волков Е.Г., Дереченник С.С.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ КЛАСТЕР-КЛАСТЕРНЫХ АГРЕГАТОВ

Введение. Многие реальные физические объекты представляют собой кластерные структуры. Например, коллоидные кластеры образуются в растворах в результате химических реакций, твердотельные кластеры формируются в результате различных превращений в твердой фазе: в ходе твердотельных (фото)химических реакций, в результате спекания, в процессе перехода аморфной фазы в кристаллическую и др. [1]. Формирование таких структур происходит по механизму кластер-кластерной агрегации (ККА), который может моделироваться описанным ниже алгоритмом. В ограниченном модельном простран-

стве случайным образом размещается некоторое число частиц, которые начинают блуждание в пространстве в соответствии с броуновским движением. При столкновении частицы слипаются и двигаются вместе, образуя первичный кластер. Процесс заканчивается, когда все первичные кластеры объединяются в конечный кластер.

Полученный кластер-кластерный агрегат, как правило, является фракталом. У всех фрактальных кластеров, образующихся в природе, наблюдается непосредственная связь между их структурой и физико-химическими свойствами. Например, в [2] был проведен

Волков Евгений Геннадьевич, аспирант, ассистент кафедры электронных вычислительных машин и систем Брестского государственного технического университета.

Дереченник Станислав Станиславович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой электронных вычислительных машин и систем Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика

детальный фрактальный анализ для всех типов, групп и видов торфа, который показал, что фрактальная размерность достаточно адекватно отражает зависимость структуры торфяных систем от их физико-химических и морфологических характеристик.

Одним из основных параметров, характеризующих структуру кластеров указанного типа, является фрактальная размерность. Распространенным способом анализа фрактальных свойств кластера ККА является расчет Хаусдорфовой клеточной размерности [3], которая для плоских (двумерных) пористых объектов определяется зависимостью площади кластера от изменяющегося размера квадратной ячейки – как минимальной меры измерения площади:

$$S(l): l^{2-D} : n^{D-2}(l),$$

где $S(l)$ – суммарная площадь всех ячеек, покрывающих кластер (если хотя бы часть любой частицы кластера находится в ячейке, то ячейка считается принадлежащей кластеру);

D – фрактальная размерность кластера;

$n(l)$ – количество ячеек размера l , помещающихся на стороне квадратной области моделирования.

Расчет фрактальной размерности по двумерному изображению кластера сводится к определению коэффициента (тангенса угла) наклона линейной аппроксимации зависимости $S(l)$, построенной в двойных логарифмических координатах. Результат расчета существенно зависит от диапазона изменения параметра l (во всех известных практических исследованиях данный диапазон составлял никак не менее одного порядка величины). При анализе фотоизображений реальных физических структур (пример представлен на рис. 1) этот диапазон предопределен, с одной стороны, разрешением изображения, с другой стороны – его размерами. Для анализа же структур ККА, полученных имитационным (внерешеточным) моделированием, границы диапазона требуют уточнения – в особенности, если структура является полидисперсной.

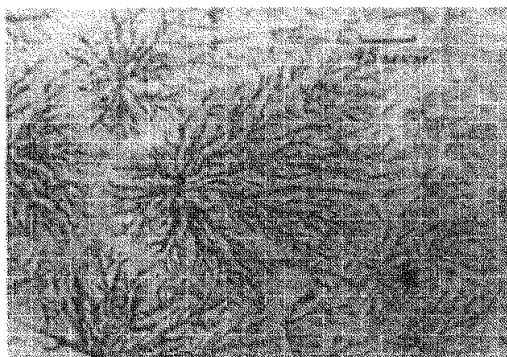
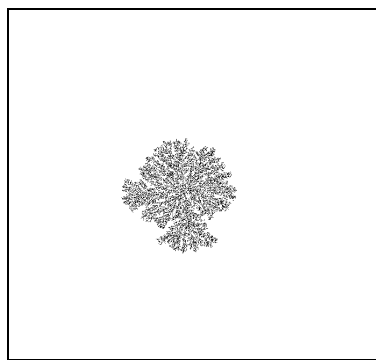
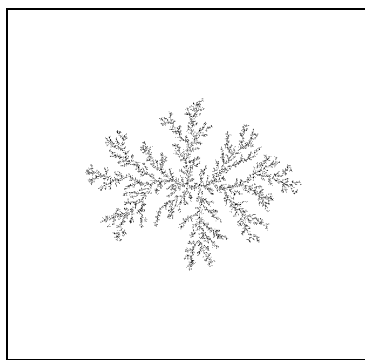


Рис. 1. Фрактальная структура фуллерита [6]

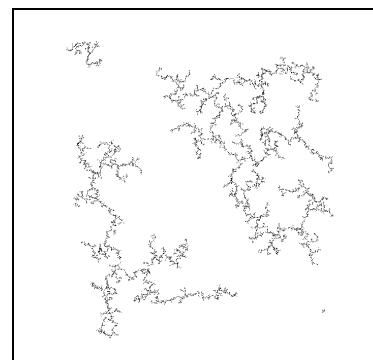
При этом искомый диапазон должен соответствовать следующим требованиям:



а



б



в

Рис. 2. Монодисперсные агрегаты БА (а), ОДА (б) и ККА (в), состоящие из 40 000 частиц (начальная концентрация частиц в области моделирования – 2,4%)

- фрактальная размерность исследуемого агрегата не должна зависеть ни от размера модельной области, ни от размера самого агрегата (количества частиц в его составе) и его местоположения в этой области – а только лишь от внутренней структуры агрегата;
- значения фрактальной размерности для различных моделей агрегации (видов кластеров) – баллистической (БА), ограничено-диффузионной (ОДА) и ККА – должны коррелировать с известными данными [4, 5].

Уточнение диапазона изменения размера покрывающих ячеек. Выполним имитационное моделирование монодисперсных кластеров размером в 40 000 частиц, образующихся в квадратной модельной области единичного размера по различным механизмам агрегации, (рис. 2) и построим для каждого из них график зависимости $S(l)$ в двойных логарифмических координатах (рис. 3).

Выделим три диапазона параметра l , как показано на рис. 3, при этом диапазон 2 соответствует удовлетворительной линейной аппроксимации зависимостей $S(l)$, и найдем, с какими первичными параметрами и как именно связано положение его границ.

В первом диапазоне рассчитываемая площадь кластера сначала постоянна и равна площади модельной области, вплоть до значения $l = l_1$, которое зависит от местоположения кластера в модельной области и соотношения их размеров. Дальнейшее уменьшение размера ячеек до некоторого значения l_1 сопровождается нерегулярным снижением вычисляемой площади, при этом вид зависимости в диапазоне $l_1; l_2$ грубо характеризует величину исследуемого кластера без учета его внутренней структуры. Установлено, что значение l_1 примерно в десять раз меньше стороны минимального квадрата, в который можно вписать весь кластер (таким образом, l_1 необходимо вычислять для каждого исследуемого агрегата).

В случае, когда кластерный агрегат занимает всю модельную область (пример такого агрегата представлен на рис. 4), оказывается, что $l_1 > l_1$. В этом случае границей первого диапазона следует считать значение l_1 . По-видимому, в этом случае, значение l_1 характеризует размер максимальной поры в кластере, т.е. это значение в действительности зависит от внутренней структуры агрегата.

Начиная со значения l_2 , которое в точности соответствует радиусу частицы монодисперсного кластера, уменьшение ячеек уже никак не влияет на его площадь. Отметим также, что плотность различных кластеров на участке $l_2; l_2$ (см. рис. 3) линейно снижается по одной, для всех видов кластеров, траектории, при этом найдено, что $l_2 = 2l_2$. Аналогично, для бидисперсных фрактальных

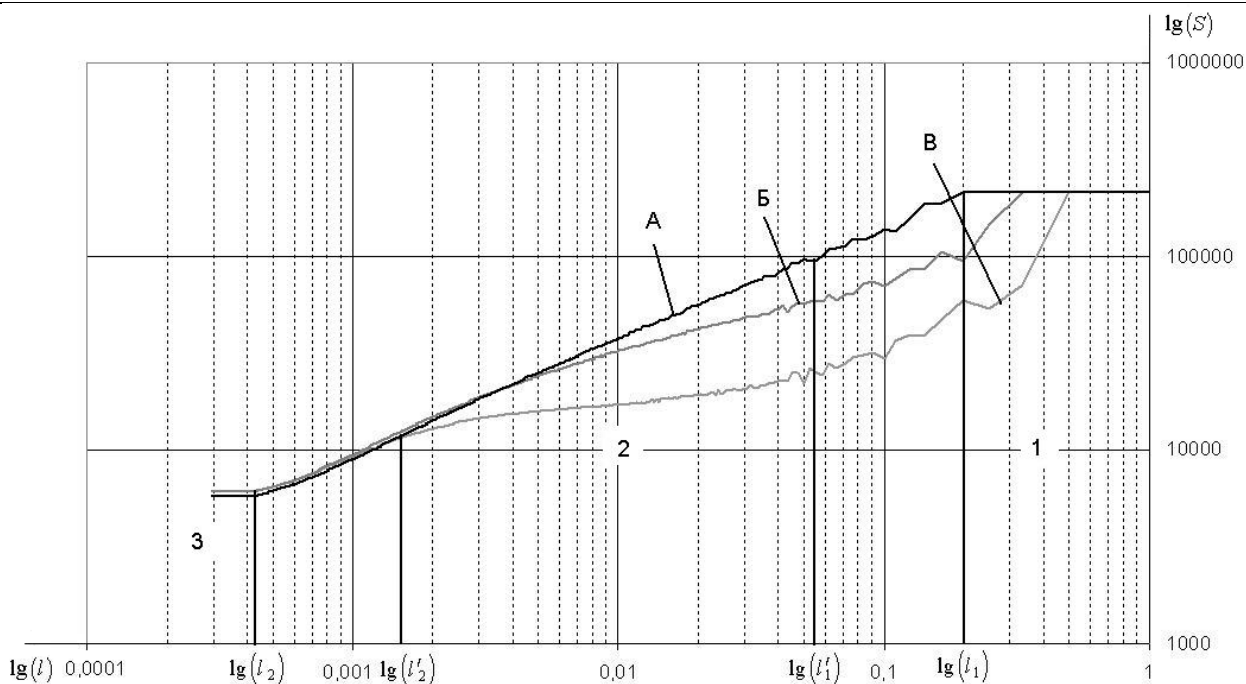


Рис. 3. Зависимость площади монодисперсных фрактальных кластеров по рис. 2 от размера ячейки l , которыми покрывается кластер (А – ККА, Б – ОДА, В – БА)

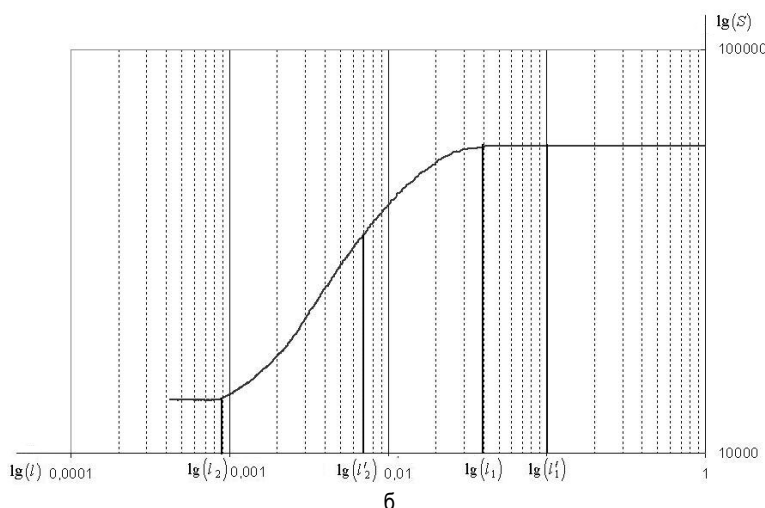
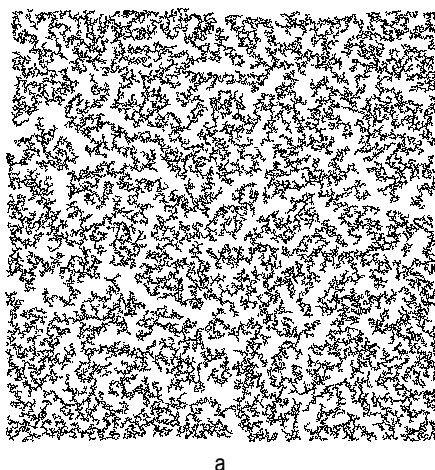


Рис. 4. Фрактальный агрегат ККА, состоящий из 20 000 частиц с начальной концентрацией частиц 31% (а) и график зависимости его площади от размера ячейки l

кластеров ККА, ОДА и БА установлено, что значения l_2 и l'_2 равны, соответственно, радиусу и диаметру наибольшей из частиц кластера. Итак, коэффициент наклона зависимости $S(l)$ на участке $\frac{l'_2}{l_2} l_2 = l'_2$; $l_2 \frac{dS}{dl}$ не связан с механизмом агрегации и поэтому никак не характеризует структуру кластера, а определяется исключительно дисперсным составом частиц.

Таким образом, для дальнейшего анализа структуры кластеров, в том числе расчета фрактальной размерности, будем исследовать изменение их плотности в диапазоне от l'_2 до l'_2 .

Проверим приведенные выше соображения, для чего линейно аппроксимируем зависимость $S(l)$ в части графика, ограниченного

диапазоном $\frac{l'_2}{l_2}$; l'_2 . Результаты вычисления фрактальной размерности для шести построенных кластеров (рис. 3 и 5) приведены в таблице 1. Полученные значения хорошо соотносятся как с известными

значениями размерности кластеров данных типов ([5, 6]), так и, в целом, с визуально оцениваемыми характеристиками их плотности.

В результате большого количества вычислительных экспериментов с определением фрактальной размерности кластеров ККА в диапазоне $\frac{l'_2}{l_2}$; l'_2 , мы сформулировали нижеследующие утверждения.

Таблица 1. Фрактальная размерность кластеров

Тип агрегации	Размерность монодисперсных кластеров	Размерность бидисперсных кластеров
ККА	1.3957	1,3921
ОДА	1.4745	1,4559
БА	1.6684	1,6340

1. Размерность фрактального кластера не зависит от количества частиц в начальном их размещении

Для кластеров с равной начальной концентрацией, но с различным количеством составляющих частиц, на рисунках 6,7 построены зависимости фрактальной размерности от количества частиц в

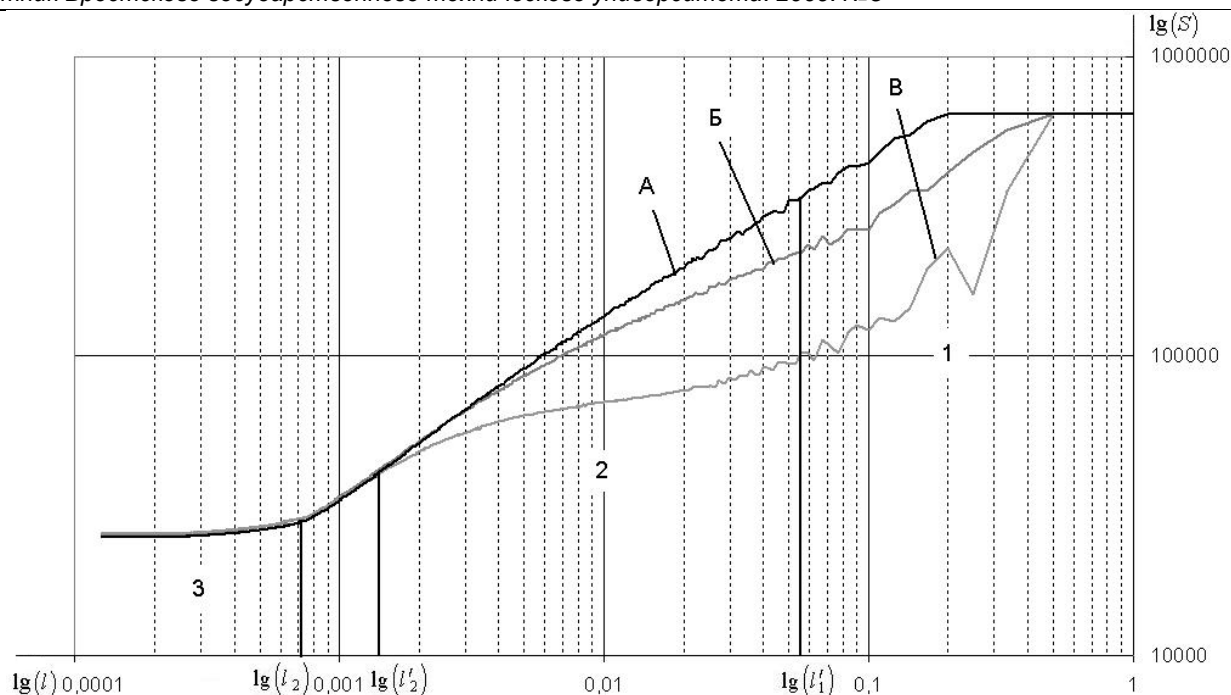


Рис. 5. Зависимость площади бидисперсных фрактальных кластеров в 40000 частиц с 40%-долей частиц большего размера (А – ККА, Б – ОДА, В – БА) от выбранного размера ячейки l , которыми покрывается кластер

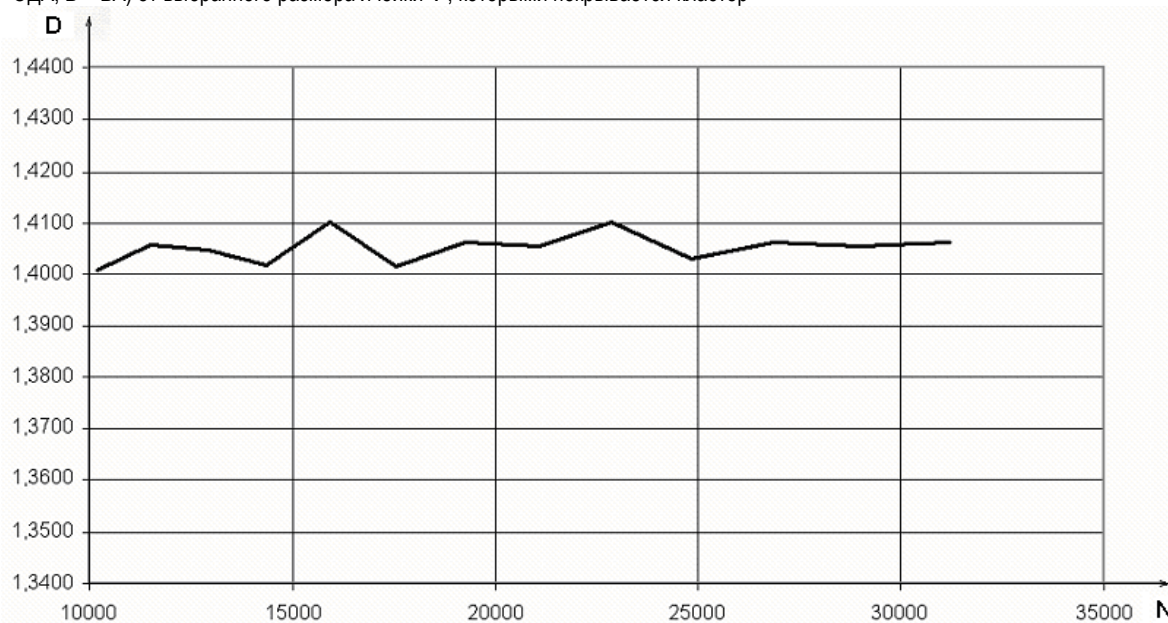


Рис. 6. Зависимость фрактальной размерности от количества частиц в кластере при одинаковой их начальной концентрации 5%

кластере. Размерность усреднялась, в каждом случае, по 3-5 вычислительным экспериментам. Размах изменения усредненной размерности практически несущественен (не превышает 0.01...0.02).

2. *Размерность фрактального кластера не зависит от величины пространства блуждания частиц*

Вычислялась фрактальная размерность для кластера в 20 000 частиц в модельной области изменяемого размера. Представленная на рис. 8 зависимость показывает, что на результат расчета фрактальной размерности практически не влияют размеры модельной области, т.е. незаполненное пространство вокруг кластера.

3. *Диапазон $\frac{I_1}{I_2}$; I_2^* определяется плотностью построенных кластеров*

Для кластер-кластерных агрегатов с различной начальной концентрацией диапазон $\frac{I_1}{I_2}$; I_2^* сужается (независимо от количества частиц), и уже при концентрации 36% составляет менее одного порядка (как следует из рис. 9), что заставляет усомниться в корректности вычисления фрактальной размерности, а значит и в принадлежности кластеров с более высокой концентрацией к классу фракталов. Примеры фрактальных агрегатов с плотностью не превышающих 36% и рассчитанные предложенным методом значения размерности представлены на рис. 10.

Заключение. В результате исследования распределения плотности различных кластер-кластерных агрегатов, был определен диапазон изменения размера покрывающих кластер ячеек, необходимых для вычисления Хаусдорфовой размерности, в котором наиболее корректно оценивается внутренняя структура агрегата. Нижняя

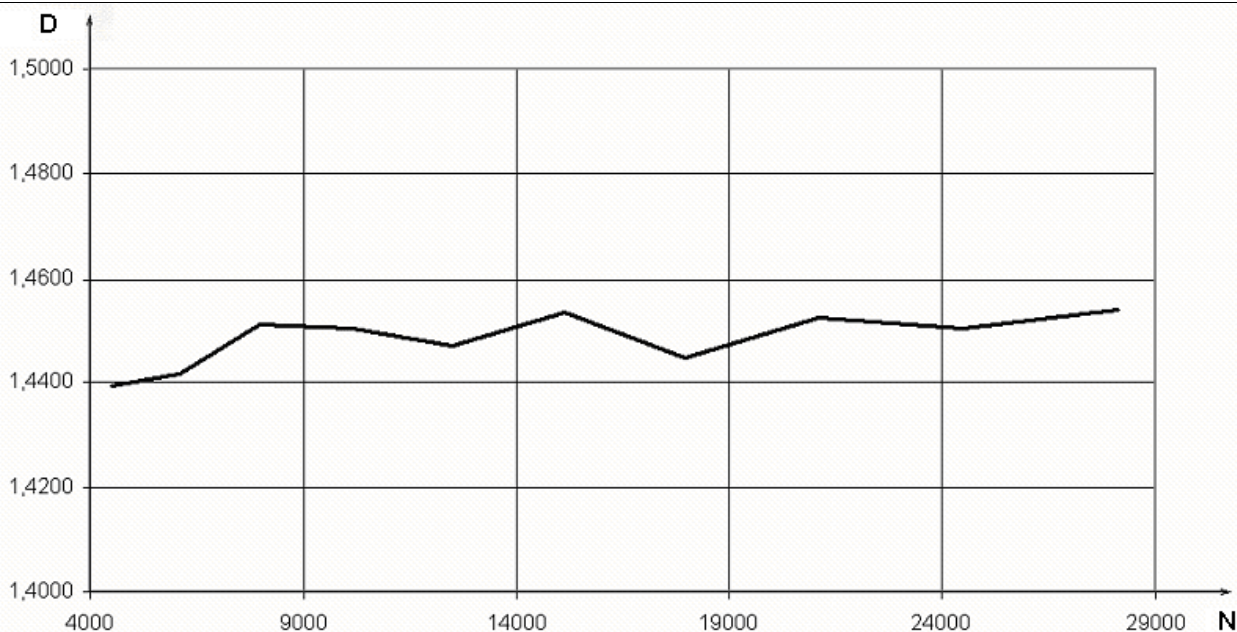


Рис. 7. Зависимость фрактальной размерности от количества частиц в кластере при одинаковой их начальной концентрации 15,7%

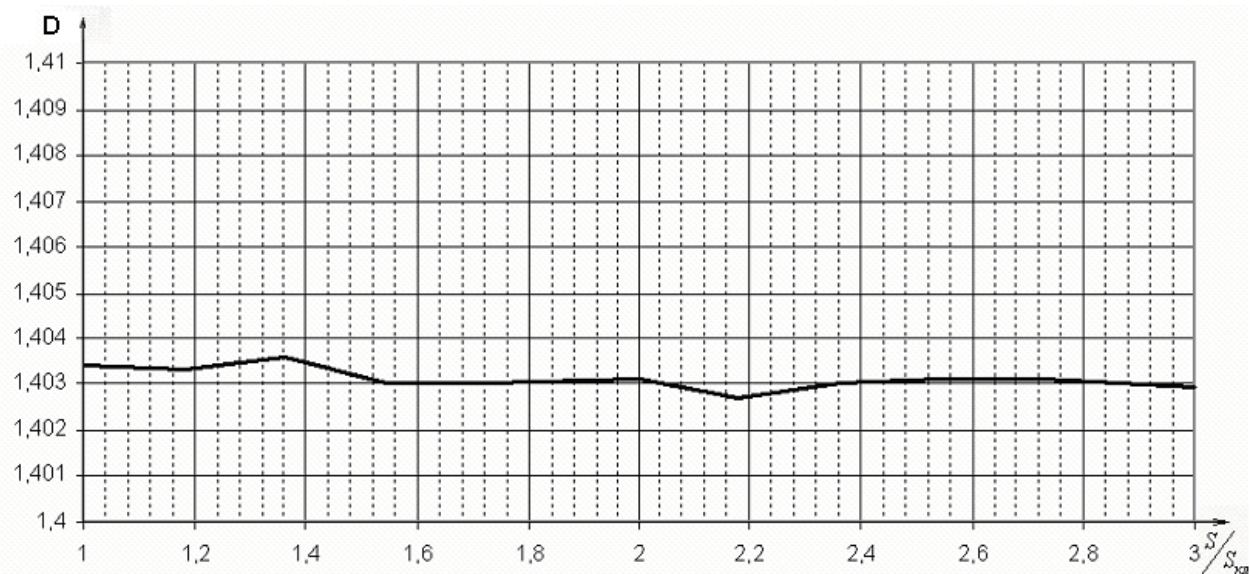


Рис. 8. Зависимость фрактальной размерности от площади модельной области, нормированного к площади исследуемого кластера

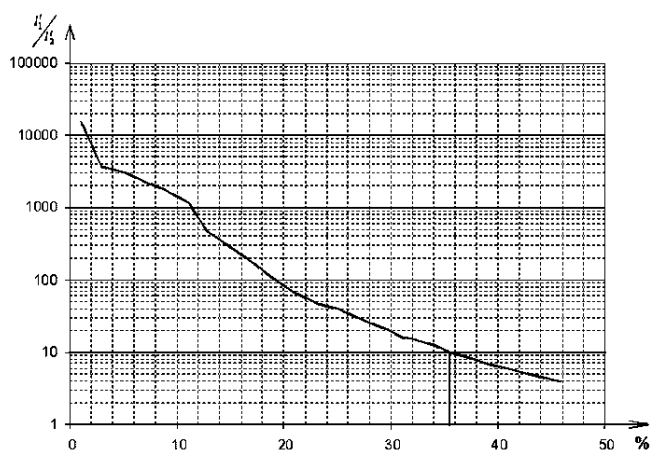


Рис. 9. Зависимость используемого в вычислениях диапазона размеров ячеек от начальной концентрации частиц

граница диапазона – значение $l_{\check{y}}$ – соответствует диаметру максимальной частицы в составе агрегата. Верхней же границей диапазона является либо значение $l_{\check{y}}$, в десять раз меньше стороны минимального квадрата, в который можно вписать весь кластер, либо значение l_1 (если $l_1 < l_{\check{y}}$), равное стороне наибольшего квадрата, который возможно поместить в максимально большую пору кластера.

Расчет фрактальной размерности в данном масштабном диапазоне нечувствителен ни к размеру самого кластера, ни к величине модельной области. Фрактальная размерность зависит при этом исключительно от концентрации частиц (плотности кластера). При плотности агрегатов выше 36% масштабный диапазон сужается до недопустимой величины (менее одного порядка). В этом случае корректно оценить фрактальные свойства кластер-кластерного агрегата не представляется возможным, что вообще позволяет усомниться в принадлежности подобных объектов к классу фракталов. Действительно, повышение плотности многочастичной структуры сопровождается ее постепенным упорядочиванием – вплоть до полной регулярности, наступающей при плотности 90,7% (плоская гексагональная упаковка [8]).

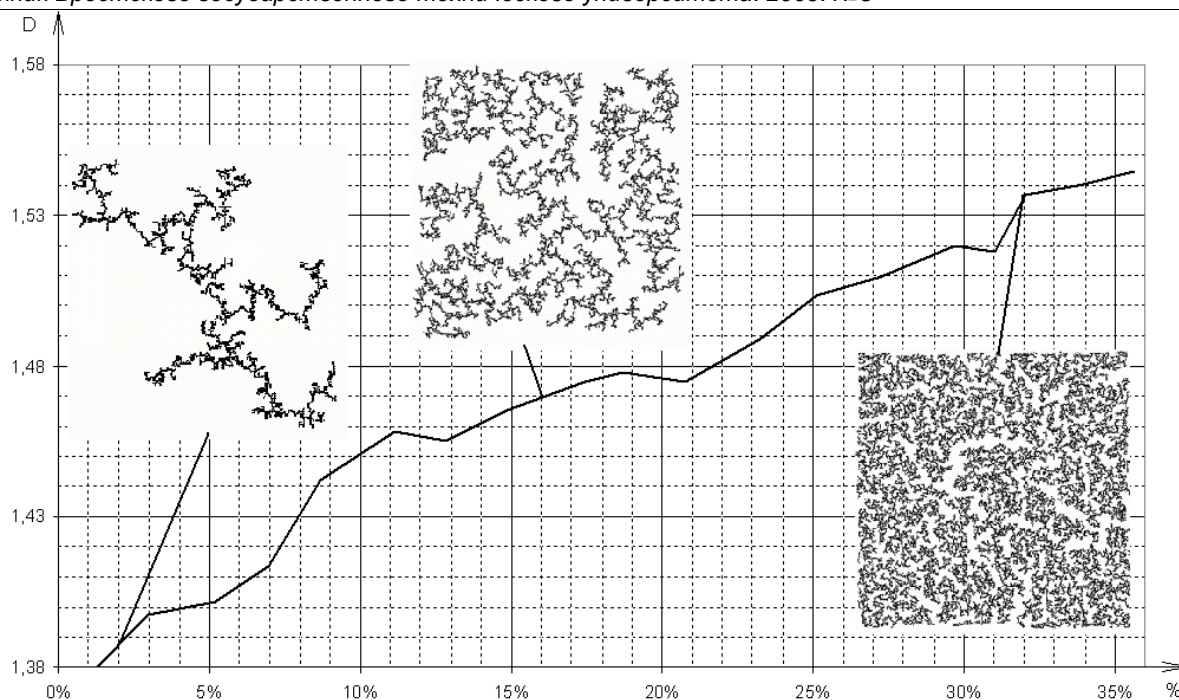


Рис. 10. Фрактальные характеристики кластер-кластерных агрегатов различной плотности

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Суздаев, И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
2. Кулак, М.И. Фрактальная механика материалов / М.И. Кулак. – Минск: Выш. шк., 2002. – 304 с.
3. Золотухин, И.В. Твердотельные фрактальные структуры / И.В. Золотухин // Международный научный журнал "АЭЭ". – 2005. – № 9. – С. 56–66.
4. Золотухин, И.В. Фрактальная структура фуллерита / И.В. Золотухин, Л.И. Янченко, Е.К. Белоногов // Письма в ЖЭТФ – 1998. – № 9. – С. 684–685.
5. Смирнов, Б.М. Физика фрактальных кластеров / Б.М. Смирнов. – М.: Наука, 1991. – 134 с.
6. Волков, Е.Г. Фрактальная размерность бидисперсных кластеров / Е.Г. Волков // Сб. конкурсных и научных работ студентов и магистрантов / БрГТУ; редкол.: В.В. Тур [и др.]. – Брест, 2006. – С. 97–99.
7. Волков, Е.Г. Моделирование фрактальных кластеров с изменением коэффициента длины пробега / Е.Г. Волков // Современные проблемы математики и вычислительной техники: матер. V республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, 28-30 ноября 2007 г. / БрГТУ; редкол.: В.В. Тур [и др.]. – Брест, 2007. – С. 51–53.
8. Конвей, Дж. Упаковки шаров, решётки и группы: в 2-х т. / Дж. Конвей, Н. Слоэн. – Т.2. – М.: Мир, 1990. – 376 с.

Материал поступил в редакцию 23.09.09

VOLKOV E.G., DERECHENNIK S.S. Features of calculation fractal dimensions of cluster-cluster aggregates

The internal structure cluster-clusters fractal aggregates presented by models of multipartial disperse systems is researched. The range of change of the size covering cluster cells necessary for calculation hausdorff dimension in which the internal structure aggregate is most correctly estimated is certain. Calculation fractal dimensions in this scale range is tolerant neither to the size of cluster, nor to size of modelling area. Thus fractal dimension depends only on cluster density and increases from value 1,38 up to 1,54 at change of concentration of particles in a range 1 ... 36 %. Also it has been found out, that cluster-clusters aggregates with density above 36 % cannot refer to fractals.

УДК 004.8.032.20

Кабыш А.С., Головки В.А.

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К МНОГОАГЕНТНОМУ ПОДКРЕПЛЯЮЩЕМУ ОБУЧЕНИЮ

Многоагентное подкрепляющее обучение. Подкрепляющее обучение (Reinforcement Learning, RL) – это область искусственного интеллекта и теория машинного обучения, предназначенная для обучения автономных агентов через их взаимодействие с внешней средой для достижения в ней оптимального поведения [1]. Подкрепляющее обучение возникло на пересечении таких областей наук как динамическое программирование, машинное обучение, исследование рефлексов, когнитивные процессы [1–3].

Идеи подкрепляющего обучения первоначально образом возникли в попытках по обучению животных, при построении теории рефлексов, как модель ответов на стимул. Биологический взгляд на подкрепляющее обучение дан в [3]. Позже был разработан математический аппарат RL теории [1], который является комбинацией идей Монте-Карло и Динамического программирования и основан на итеративном варианте формулы Беллмана.

Кабыш А.С., аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.