

О.Б. Бавыкин
 Университет машиностроения, Москва, Россия

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ, ПРАКТИЧЕСКАЯ, ПРОГРАММНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВЫ КУРСА «МЕТОДЫ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА»

Описаны теоретическая, практическая, программная и техническая основы реализации курса «Методы фрактального анализа», читаемого на кафедре «Стандартизация, метрология и сертификация» Университета машиностроения. Предложена универсальная блок-схема практического занятия, предусматривающая выполнение студентом фрактального анализа в прикладном специализированном программном обеспечении с последующей защитой работы в форме компьютерного тестирования в программе «MyTestX». Установлены компетенции, развивающиеся у обучающихся при реализации предлагаемых основ.

Ключевые слова: фрактальный анализ, учебный курс, «Gwyddion», «Nova», «Fractan», показатель Херста.

В последние годы наблюдается тенденция применения теории фракталов для решения задач в различных областях деятельности науки. Это вызвано тем, что фрактальный анализ выступает альтернативой традиционным методам, которые в ряде случаев не позволяют адекватно исследовать объект или его смоделировать.

Особенно ярко подобная ситуация проявляется в сфере изучения и оценки свойств материала, полученного нанотехнологиями. В этом случае при применении положений классических методов не учитывается доказанная нелинейная синергетическая природа процессов образования наноматериалов, и, как следствие, происходит искажение полученных результатов.

Необходимость использования для исследования характеристик наноматериала нетрадиционных подходов привела к появлению потребности в специалистах, владеющих положениями фрактальной геометрии и фрактального анализа.

1. Общая характеристика дисциплины

Для удовлетворения упомянутой потребности в высококвалифицированных кадрах разработана дисциплина «Методы фрактального анализа». Она читается в Университете машиностроения [1] на кафедре «Стандартизация, метрология и сертификация» («СМиС») бакалаврам, обучающимся по направлению подготовки 221700.62 «Стандартизация и метрология». Детальная информация о курсе «Методы фрактального анализа» представлена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что дисциплина относится к вариативной части, что говорит о том, что содержание курса определяется вузом.

2. Основы курса

На кафедре «СМиС» разработаны основы учебного курса «Методы фрактального анализа», представленные на рис. 1.

Теоретическую основу составляют фундаментальные работы в области фракталов, фрактального анализа и фрактальной геометрии [2. С. 40; 3. С. 55; 4. С. 10]. По материалам этих научных трудов сформированы лекции курса.

Для проведения семинаров и практических занятий разработаны учебно-методические материалы, входящие в практическую основу и посвященные:

- методам сканирующей зондовой микроскопии и фрактальному анализу поверхностного слоя материала [5. С. 16; 6. С. 24];
- фрактальному анализу временного ряда данных [3. С. 40; 7. Т. 12. С. 3].

Ознакомиться с упомянутыми учебными работами можно на сайте библиотеки Университета машиностроения.

Программную основу образуют четыре компьютерные программы, две из которых («Nova» [8. С. 75] и «Gwyddion») предназначены для рабо-

Таблица 1
 Характеристика курса «Методы фрактального анализа»

Название характеристики	Количество часов
Аудиторные занятия	36
Лекции	18
Семинары и практические занятия	18
Самостоятельная работа	36
Дисциплина по выбору студентов; читается в одном семестре (в 5-м); форма окончательного контроля – зачет; относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла	



Рис.1. Основы учебного курса «Методы фрактального анализа»

ты со сканирующим зондовым микроскопом. Они используются в качестве инструментов фрактального анализа поверхностного слоя материала.

Стоит отметить, что работа с некоторыми модулями этих программных продуктов возможна и без подключенного к компьютеру сканирующего зондового микроскопа или нанолaborатории, что делает программы «Nova» и «Gwyddion» гибким инструментом для исследований заранее полученных с помощью зондового микроскопа данных – сканов образцов.

Таблица 2

Типы и форматы файлов, загружаемых в программу «Nova»

Тип данных	Расширения файлов
СЗМ-данные	*.mdt, *.sm2, *.stm, *.wat
Двумерные графические данные	*.bmp, *.gif, *.tif, *.pcx
Одномерные (в виде кодировочной таблицы ASCII) данные	*.txt

Кроме того, загружать и обрабатывать файлы в этих программах можно не только в форматах зондовой микроскопии. Например, для программы «Nova» возможности по импорту данных представлены в табл. 2 [9. С. 119].

Помимо способности работать с файлами различных расширений, программа «Nova» обладает высокой точностью встроенного алгоритма фрактального анализа, что было выявлено в работе [9. С. 119] (табл. 3 и 4).

Согласно рис. 1 программную основу также образует программа «Fractan», которая используется в учебном процессе для практических занятий по фрактальному анализу временного ряда данных на основе метода Херста [7. Т. 12. С. 3]. Продукт разработан в Институте математических проблем биологии РАН.

Возможности программы широки:

– создание модельных данных (функция Ван-дер-Поля (1D и 2D); отображение Хенона;

Таблица 3

Результаты вычисления в программе «Nova» фрактальной размерности сгенерированных структур

Название объекта	Теоретическое значение параметра D	Подсчитанное значение параметра D	Относительная погрешность δ
Сгенерированный фрактал	D = 1,7	D = 1,74	$\delta = 2,3\%$
Изображение с множеством геометрических фигур	D = 2	D = 1,97	$\delta = 1,5\%$
Изображение РЛИ	D = 1,66	D = 1,68	$\delta = 1,2\%$
Кривая Леви	D = 1,93	D = 1,96	$\delta = 2,3\%$

Таблица 4

Результаты вычисления в программе «Nova» корреляционной размерности стохастических структур

Название образца	Значение корреляционной размерности (ИРЭ РАН)	Значение корреляционной размерности	Относительная погрешность δ
ЭХО-поверхность	D = 2,837	D = 2,86	$\delta = 0,8\%$
Поверхность углепластика	D = 1,999	D = 2,03	$\delta = 1,5\%$

отображение Икеды; система Лоренца; система Ресслера; гауссовский шум; обобщенный броуновский шум; обобщенное броуновское движение; функция Вейерштрасса – Мандельброта; уравнение Меки – Гласса);

– статистическая обработка данных (вычисление корреляционной размерности и корреляционной энтропии; оценка показателя Херста; построение фазового пространства; вычисление автокорреляционной функции; построение графиков средней взаимной информации).

К другим преимуществам упомянутой программы можно отнести то, что она распространяется бесплатно, поддерживает русский язык и обладает удобным интерфейсом.

Недостатки программы «Fractan»:

– минимальная длина загружаемого временного ряда 512 элементов;

– максимальная длина загружаемого файла не ограничена. Но при большом объеме информации ее обработка затягивается;

– максимальная длина генерируемого ряда 100 000.

3. Универсальная блок-схема проведения практического занятия

Последний элемент программной основы – программа «MyTestX», которая используется для компьютерного оценивания знаний студентов. На основе успешного опыта применения данной программы в образовательном процессе [10. С. 10]

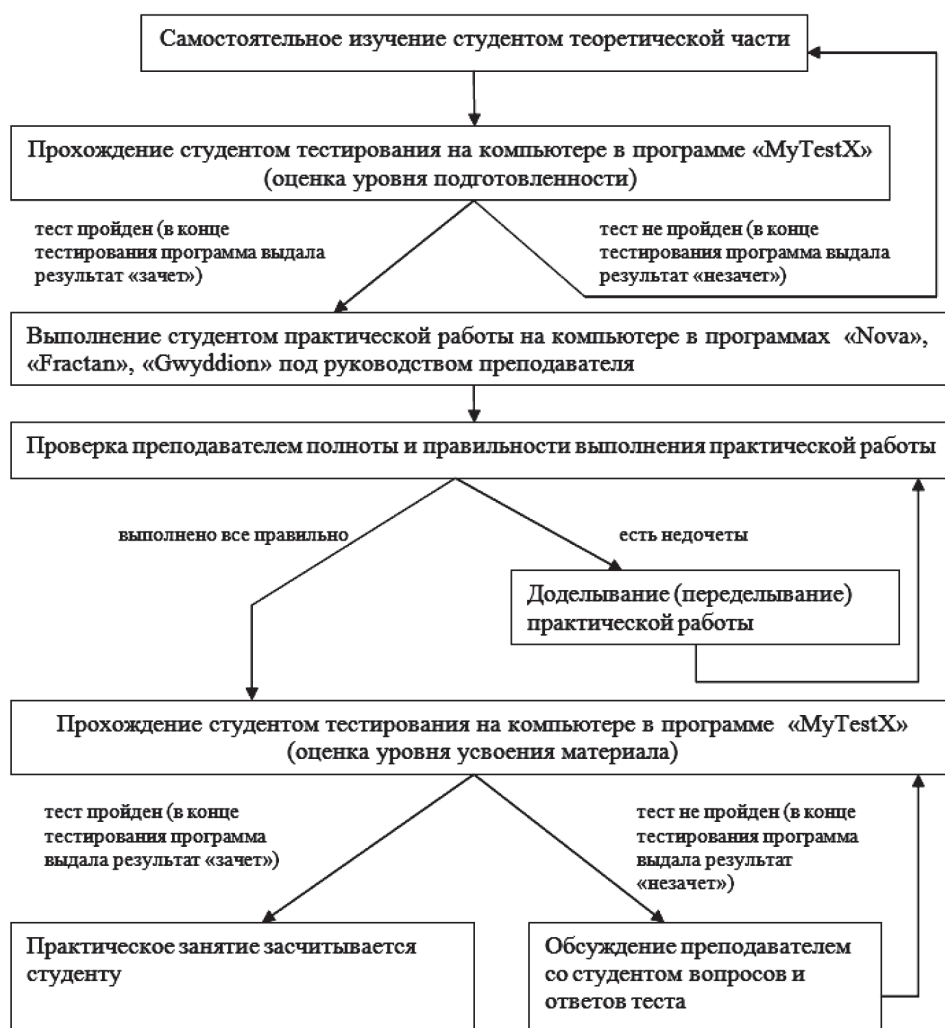


Рис. 2. Блок-схема практического занятия по дисциплине «Методы фрактального анализа»

можно предложить универсальную блок-схему практического занятия по дисциплине «Методы фрактального анализа» (рис. 2).

Заключение

В заключение можно отметить, что формирование и проведение занятий по дисциплине «Методы фрактального анализа» с учетом предлагаемых основ и блок-схемы позволят студентам овладеть следующими профессиональными и общекультурными компетенциями направления подготовки 221700.62:

- способность и готовность приобретать с большой степенью самостоятельности новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОК-4);

- способность применять математический аппарат, необходимый для осуществления профессиональной деятельности (ОК-15);

- способность использовать в социальной жизнедеятельности, в познавательной и в профессиональной деятельности навыки работы с компьютером, работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-16);

- выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю; использовать современные методы измерений, контроля и управления качеством (ПК-3);

- проводить изучение и анализ необходимой информации, технических данных, показателей и результатов работы, их обобщение и систематизацию, проводить необходимые расчеты с использованием современных технических средств (ПК-17);

- проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, составлять описания проводимых исследований и подготавливать данные для составления научных обзоров и публикаций (ПК-20).

В перспективе предполагается включить в основы курса «Методы фрактального анализа» практические занятия по фрактальному исследованию образцов на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000, который приобретен Университетом машиностроения в рамках реализации Программы стратегического развития. Это позволит проводить исследования по изучению влияния фрактальной размерности на эксплуатационные свойства материалов, полученных современными методами обработки [11. С. 7; 12. С. 242].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.mami.ru/>
2. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. – N. Y.: Freeman, 1982. – 468 p.
3. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: топология выборки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
5. Бавыкин О.Б. Методика оценки качества микроповерхности с применением фрактального анализа / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 6 (83). – С. 50–52.
6. Бавыкин О.Б. Методы оценки фрактальной размерности поверхностного слоя // Мир измерений. – 2014. – № 2. – С. 16–20.
7. Потапов А.А. Параметрическая методика определения наличия фрактальных свойств у электрохимически обработанных поверхностей / А.А. Потапов, О.Ф. Вячеславова, О.Б. Бавыкин // Нелинейный мир. – 2014. – Т. 12, № 3. – С. 3–12.
8. Бавыкин О.Б. Современные методы оценки качества поверхностей деталей машин: учеб. пособие / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова / Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), каф. «Стандартизация, метрология и сертификация». – М., 2010.
9. Потапов А.А. Исследование возможностей применения компьютерной программы «Nova» для фрактальной обработки информации / А.А. Потапов, О.Ф. Вячеславова, О.Б. Бавыкин // Волновая электроника и ее применение в информационных и телекоммуникационных системах: матер. междунар. молодежной конф. – Воронеж, 2012. – С. 119–123.
10. Бавыкин О.Б. Применение в образовании специализированных компьютерных программ «NOVA» и «MYTESTX» // IDO Science. – 2011. – № 1. – С. 10–11.
11. Бавыкин О.Б. 77-48211/596038 фрактальная многомерная шкала, предназначенная для управления режимом размерной эхо- и оценки его выходных данных // Инженерный вестник. – 2013. – № 07. – С. 7.
12. Саушкин Б.П. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей / Б.П. Саушкин, Б.В. Шандров, Ю.А. Моргунов // Изв. МГТУ «МАМИ». – 2012. – Т. 2, №2 (14). – С. 242–248.

O.B. Bavykin

Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI), Moscow, Russia

THEORETICAL, PRACTICAL, SOFTWARE AND TECHNICAL BASES OF THE COURSE «METHODS OF FRACTAL ANALYSIS»

Keywords: fractal analysis, training course, «Gwyddion», «Nova», «Fractan», Hurst exponent.

This paper describes three bases of the course «Methods of fractal analysis», developed in the department of 'Standardization, metrology and certification' of the Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI). The theoretical basis includes academic papers in the field of fractals, fractal analysis and fractal geometry, which

form the basis of lectures on the course. The program includes four computer programs: «Nova», «Gwyddion», «Fractan», «MyTestX».

The first two are used for a scanning probe microscope and applied as tools of fractal analysis of the material surface layer. The paper presents features of their work and identifies strengths and weaknesses. Moreover, it presents analysis of algorithm of fractal processing, embedded in the program «Nova» due to which the high accuracy of fractal analysis of mathematical and physical structures are revealed. The program «Fractan» is recommended for practice work on the analysis of time series data on basis of Hurst's method.

A set of educational resources forming practical basis has been developed for seminars. The program «MyTestX» has been selected for computer evaluation of students' knowledge in the form of a computer test. This program and the previously mentioned software products are included in the block diagram of the practical session on the discipline «Methods of fractal analysis».

Arranging and conducting classes on the discipline «Methods of fractal analysis» considering the proposed basis and the block diagram allow students to master the general cultural and professional competences in major 221700.62 «Standardization and Metrology» (for example, research, analysis of vital information, technical data, indicators and results, their generalization and systematization; making calculations with the use of modern hardware; conducting experiments according to preset processing methods and results analysis; making descriptions and data preparation for scientific reviews and publications).

In prospect we are planning to include in the course «Methods of fractal analysis» practical classes on fractal analysis of samples using scan multi-microscope SMM-2000, which is at the disposal of the University of mechanical engineering

within the framework of implementation of the strategic development Program. This makes it possible to study the influence of fractal dimension on service properties of materials obtained by modern processing methods.

REFERENCES

1. <http://www.mami.ru/>
2. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. – N. Y.: Freeman, 1982. – 468 p.
3. Feder E. Fraktaly. – M.: Mir, 1991. – 254 s.
4. Potapov A.A. Fraktaly v radiofizike i radiolokacii: topologija vyborki. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Universitetskaja kniga, 2005. – 848 s.
5. Bavykin O.B. Metodika ocenki kachestva mikropoverhnosti s primeneniem fraktal'nogo analiza / O.B. Bavykin, O.F. Vjacheslavova // Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov. – 2013. – № 6 (83). – S. 50–52.
6. Bavykin O.B. Metody ocenki fraktal'noj razmernosti poverhnostnogo sloja // Mir izmerenij. – 2014. – № 2. – S. 16–20.
7. Potapov A.A. Parametricheskaja metodika opredelenija nalichija fraktal'nyh svoystv u jelektrohimicheski obrabotannyh poverhnostej / A.A. Potapov, O.F. Vjacheslavova, O.B. Bavykin // Nelinejnyj mir. – 2014. – T. 12, № 3. – S. 3–12.
8. Bavykin O.B. Sovremennye metody ocenki kachestva poverhnostej detalej mashin: ucheb. posobie / O.B. Bavykin, O.F. Vjacheslavova / Moskovskij gosudarstvennyj mashinostroitel'nyj universitet (MAMI), kaf. «Standartizacija, metrologija i sertifikacija». – M., 2010.
9. Potapov A.A. Issledovanie vozmozhnostej primeneniya komp'juternoj programmy «Nova» dlja fraktal'noj obrabotki informacii / A.A. Potapov, O.F. Vjacheslavova, O.B. Bavykin // Volnovaja jelektronika i ee primenenie v informacionnyh i telekommunikacionnyh sistemah: mater. mezhdunar. molodezhnoj konf. – Voronezh, 2012. – S. 119–123.
10. Bavykin O.B. Primenenie vobrazovanii specializirovannyh komp'juternyh programm «NOVA» i «MYTESTX» // IDO Science. – 2011. – № 1. – S. 10–11.
11. Bavykin O.B. 77-48211/596038 fraktal'naja mnogomernaja shkala, prednaznachennaja dlja upravlenija rezhimom razmernoj jehi i ocenki ego vyhodnyh dannyh // Inzhenernyj vestnik. – 2013. – № 07. – S. 7.
12. Saushkin B.P. Perspektivy razvitiya i primeneniya fiziko-himicheskikh metodov i tehnologij v proizvodstve dvigatelej / B.P. Saushkin, B.V. Shandrov, Ju.A. Morgunov // Izv. MGTU «MAMI». – 2012. – T. 2, № 2 (14). – S. 242–248.