

УДК 519.2+53:519.2

## НАНОШУМЫ: НОВЫЕ НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО «ПРОЧТЕНИЯ» СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

*Р.Р. Нигматуллин*

### Аннотация

В статье излагаются основы новых неинвазивных методов количественного «прочтения» случайных последовательностей применительно к сигналам от наносистем и обозначаются перспективные направления, которые могут быть решены новыми методами.

### 1. Введение. Постановка проблемы

В настоящее время практически все без исключения науки, изучающие природные явления, ориентируются на «вторжение» в новый мир масштабов: необходимо осуществить качественный переход с микромасштабов ( $10^{-6}$  м) на наномасштабы ( $10^{-9}$  м). Понимание и управление миром явлений на новом уровне сулит человеческой цивилизации большие выгоды: новые механизмы управления материей на молекулярном уровне, и созданные на их основе новые приборы, обладая весьма малыми размерами, помогут по-новому взглянуть на, казалось бы, уже изученные явления и помогут управлять ими с помощью механизмов, сравнимых уже с теми, что существуют в клетках, бактериях, вирусах и живых организмах в целом.

Однако подобное проникновение вглубь материи ставит новые задачи по наблюдению полезных сигналов от наносистем, где амплитуды сигналов чрезвычайно малы и сравнимы или даже меньше случайных флуктуаций большой амплитуды, играющих в этом случае либо деструктивную, либо равноправную информационную роль. Методы, которые помогают извлечь полезную информацию (сигнал) из случайных последовательностей (шума), можно разделить на два больших класса: **инвазивные** и **неинвазивные**. Под группой методов, относящихся к первому типу, обычно понимаются все методы, которые вносят неконтролируемые ошибки, связанные с математическими преобразованиями над случайными последовательностями. В большинстве своём эти ошибки связаны с тем фактом, что основные интегральные преобразования заимствованы из арсенала методов, оперирующих с *непрерывными* переменными, а применяются они к *дискретным* последовательностям, в которых выражаются случайные переменные по отношению к номеру отсчета. Если амплитуда сигнала меньше величины ошибки, связанной с переходом от непрерывной переменной к дискретной, то такие «малые» сигналы не могут быть обнаружены.

Ко второй группе методов можно отнести только такие методы, которые с самого начала оперируют с дискретными последовательностями, а также контролируют и оценивают величину ошибки во всех без исключения математических преобразованиях, применяемых к изучаемым случайным последовательностям. Критический

анализ всех известных методов, разделяемых именно по этому критерию, позволяет сделать вывод о том, что все применяемые методы – традиционные интегральные методы Фурье-анализа [1], сравнительно недавно предложенные эффективные вейвлеты [2–5], а также другие, основанные на записи бесконечной цепочки интегро-дифференциальных зацепляющихся уравнений Цванцига–Мори [6–8], методы флукуационно-шумовой спектроскопии [9–12] – являются по своей сути *инвазивными* (то есть в их основе используются базовые выражения, заимствованные из непрерывной математики и *порождающие* неконтролируемые ошибки и корреляции в случайных последовательностях, в которых может содержаться полезный сигнал). Если величина амплитуды интенсивности сигнала, регистрируемого от малого объекта, размеры которого сравнимы с отдельной молекулой или группой молекул, весьма мала, то величины неконтролируемых ошибок, связанные с переходом от непрерывной переменной к дискретной, могут существенно исказить его величину. В этих случаях корректное извлечение такого малого сигнала из сильно-зашумленных спектров, регистрируемых от нанообъекта, будет представлять уже серьёзную проблему. Поэтому, прилагая серьёзные усилия к развитию новых нанотехнологий, ученое сообщество рано или поздно столкнется с проблемой корректного (*безошибочного*) извлечения малых сигналов от групп отдельных молекул, причем эти методы должны обязательно содержать только такие преобразования, ошибки которых на любом этапе контролируются и поддаются численной оценке.

Естественна постановка вопроса: можно ли предложить и разработать такие неинвазивные методы по извлечению малых сигналов, имеющих в идеале универсальную применимость? По нашему мнению, они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Метод должен содержать *минимальное* число преобразований над дискретными последовательностями и все используемые преобразования должны содержать только *контролируемую* ошибку.
2. Все случайные последовательности могут быть независимо «прочитаны» количественно и, если необходимо, сравнены друг с другом с использованием *универсального* набора редуцированных параметров.
3. Предлагаемый метод должен быть свободен от каких-либо *модельных* представлений о природе шума.

На первый взгляд может показаться, что такого универсального метода *не* существует, и вряд ли он может быть создан в принципе, так как природа создает такое бесконечное многообразие «шумов» (иными словами, случайных последовательностей), что втиснуть это многообразие случайностей в «прокрустово» ложе каких-либо схем или принципов вряд ли представляется возможным. Поэтому основная проблема состоит в *разработке новых неинвазивных методов, которые могли бы быть применены для анализа случайных последовательностей произвольной природы и которые не используют никаких априорных предположений о статистической природе анализируемого шума*. Более того, они должны быть ориентированы на анализ шумов именно квантовой природы, когда флукуации принципиально неустранимы и играют существенную информативную или деструктивную роль. Эти шумы могут быть определены как *наношумы*, требующие особой обработки и обязательно включающие в себя количественные оценки допускаемых при расчетах ошибок, связанных с их преобразованиями.

## 2. Статистика дробных моментов

Разработка методов, связанных с неким универсальным подходом и удовлетворяющим перечисленным выше требованиям, оказывается, как это не парадоксально, *возможной* [13, 14]. Первый предлагаемый метод основан на расширении понятия моментов, которое можно распространить на дробные и даже комплексные значения величин задаваемых моментов. Для приведения всех моментов к единой размерности можно ввести *функцию обобщенного среднего* (ФОС). Эта функция, выражающая зависимость от индекса момента порядка  $p$ , обладает тем замечательным свойством, что она может быть аппроксимирована набором экспоненциальных функций и приближенно представлена в виде:

$$G_p = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \text{nin}_j^p \right)^{1/p} \cong g_{mx} \left( 1 + \sum_{k=1}^s a_k \exp(-\lambda_k p) \right)^{1/p}. \quad (1)$$

Первая сумма в равенстве (1) определяет величину момента порядка  $p$  ( $0 < p < \infty$ ), вторая сумма соответствует приближенному значению ФОС, которая определяется извлечением корня  $p$ -й степени из величины момента того же порядка. Равенство (1) не содержит никаких неконтролируемых преобразований, вторая часть равенства (1) может быть подогнана методом собственных координат (СК) [15–17] под *приближенную* гладкую функцию с величиной ошибки, которая поддается численной оценке. Равенство (1) указывает также, что любая случайная дискретная последовательность  $\text{nin}_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) может быть представлена в виде монотонной функции в пространстве дробных моментов и, как следует из (1), аппроксимирована с контролируемой точностью линейным набором экспоненциальных функций. Соответствующее пространство может быть одномерным (действительные моменты) или многомерным (если дискретные последовательности по своей природе являются многомерными или совокупность моментов выражается комплексными величинами). Эти обобщения подробно рассмотрены в работах [13, 14]. Применение ФОС для построения калибровочных кривых [18, 19], а также для количественного анализа сложных спектров рамановского рассеяния воды [20] доказало его высокую эффективность.

Более того, обобщая концепцию моментов, определенных для расчета именно дискретных случайных последовательностей, можно ввести *обобщенную функцию корреляции Пирсона* (ОФКП), которая показывает истинные корреляции между двумя и более сравниваемыми последовательностями на всей совокупности моментов ( $0 < p < \infty$ ). Эта ОФКП определяется следующим образом [20, 21]:

$$GP_p = \frac{G_p(1, 2)}{\sqrt{G_p(1, 1)}\sqrt{G_p(2, 2)}}, \quad G_p(1, 2) = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\text{nin}(1)_j \cdot \text{nin}(2)_j|^p \right)^{1/p}. \quad (2)$$

Выражение (2) при  $p = 1$  совпадает с обычной величиной коэффициента корреляции Пирсона [22, 23], которая лишь *частично* отражает возможные корреляции, существующие между двумя сравниваемыми последовательностями. Анализ функции корреляции (2) показывает, что эта функция выходит на асимптотический режим при больших значениях величины момента  $p$  ( $p \rightarrow \infty$ ) и проходит через минимальное значение, начиная от единичного значения при  $p = 0$ . Отметим следующие свойства функции  $GP_p$ :

$$\begin{aligned} GP_p(1, 1) &= 1 \quad \text{для всех } p \geq 0, \\ GP_0(1, 2) &= 1 \quad \text{для } p = 0 \text{ и различных последовательностях } \text{nin}(1, 2)_j. \end{aligned} \quad (3)$$

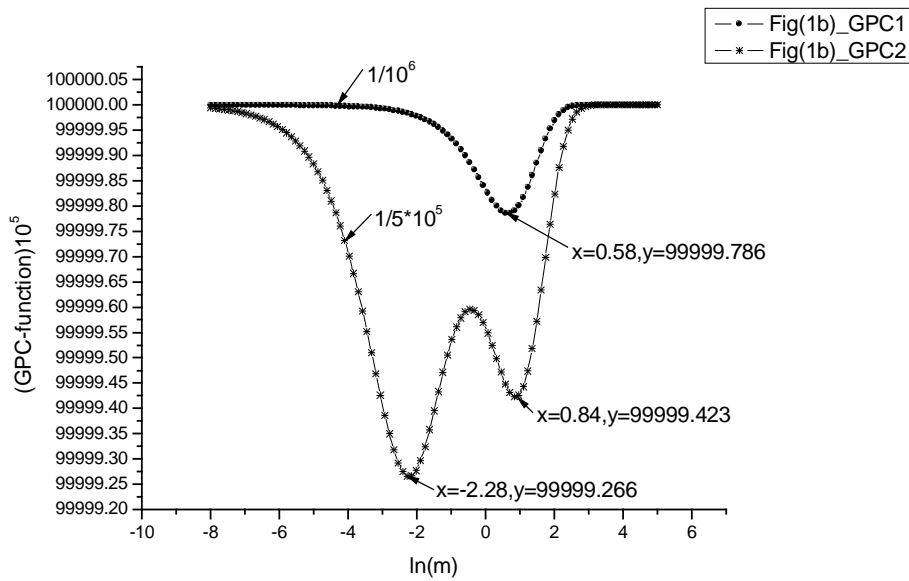


Рис. 1. Несмотря на тот факт, что отношение  $S/N$  является очень малым, ОФКП, обладающая исключительной чувствительностью, способна «заметить» присутствие чужой точки среди  $5 \cdot 10^5$  (кривая GPC2) и даже  $10^6$  (кривая GPC1) родных точек!

При этом, чтобы удовлетворить неравенству Коши [24], случайные последовательности  $\text{pin}(1, 2)_j$  должны быть *строго* положительными. Это асимптотическое значение функции  $GP_p$  для больших значений момента ( $p \rightarrow \infty$ ) может быть принято за *истинную величину* корреляции, которая возникает между двумя сравниваемыми последовательностями. Более того, численные исследования показывают, что функция (2) обладает *уникальной* чувствительностью к присутствию малого сигнала и способна зафиксировать присутствие «чужой» точки среди миллиона (!) «родных» точек, то есть отношение  $S/N$  может составить величину  $10^{-6}$ . Рис. 1 иллюстрирует этот важный факт. Расчеты показывают [13, 14], что обобщенные моменты можно связать с энтропией, введенной К. Цаллисом [25], с целью учета дальнедействующих взаимодействий в статистической механике. Эта найденная связь позволяет утверждать, что каждая случайная последовательность обладает своей собственной энтропией  $S_q$ , зависящей от индекса момента  $p$ , который связан с параметром неэкстенсивности  $q$  соотношением  $p = q - 1$ . Разумеется, статистика дробных моментов находится лишь в начальной фазе своего зарождения, но уже первые нетривиальные результаты, полученные нами [13, 14, 18–21], указывают на несомненную эффективность этой обобщающей статистики, обладающей дополнительной и контролируемой степенью свободы. ФОС и ОФКП позволяют не только сравнивать исходные последовательности, но и естественным образом оценивать величину ошибки, связанной с разложением исходной последовательности в ряд Фурье или вейвлет-преобразованием. Все эти оценки делаются в пространстве моментов с помощью подгоночных параметров ФОС или с помощью ОФКП по величине минимума и её асимптотическому значению.

### 3. Универсальная функция распределения относительных флуктуаций

Второй метод, детально изложенный в работах [26, 27], связан с доказательством существования универсальной функции распределения относительных флуктуаций. Удалось сформулировать *линейный принцип сильно коррелированных переменных* как альтернативу центральной предельной теореме Гаусса и получить аналитический вид функции распределения относительных флуктуаций для описания огибающей последовательности ранжированных амплитуд детрендрованных шумов самой различной природы. Эти функции получаются путём решения определенного класса функциональных уравнений, которые в математической форме выражают следующее естественное утверждение:

*Будущее событие выражается линейной совокупностью сильно коррелированных событий, имевших место в ближайшем прошлом.*

Функциональное уравнение, выражающее это утверждение, выглядит следующим образом:

$$F(t + kT) = \sum_{n=0}^{k-1} a_n F(t + nT), \quad (4)$$

где величины  $a_n$  ( $n = 0, 1, \dots, k-1$ ) характеризуют вклад  $n$ -го измерения в последующее  $k$ -е измерение. Максимальная величина параметра  $n = k-1$  определяет *глубину корреляции* между предыдущим измерением  $F(t + nT)$  и последующим  $k$ -м измерением  $F(t + kT)$ . Величина  $T$ , как и прежде, связана с периодом времени, соответствующим одному циклу измерений ( $0 \leq t < T$ ) или периодическому повторению некоего события. В экспериментах, связанных с измерительной аппаратурой, эта величина может быть задана или найдена независимо; в других случаях (биологические, экономические геологические системы) оценка и нахождение этой величины требует дополнительных исследований. Так же, как и для функционального уравнения (4), могут быть рассмотрены решения функционального уравнения вида, отражающие аддитивный вклад самоподобных шумов, реализующихся на разных масштабах, вида:

$$F(t\xi^k) = \sum_{n=0}^{k-1} a_n F(t\xi^n), \quad (5)$$

которое сводится к уравнению (4) с помощью замены переменных:  $\ln(\xi) \Rightarrow T$  и  $\ln(t) \Rightarrow t$ .

Мы ожидаем, что уравнения (4) или (5) имеют довольно общий (универсальный) характер, и их решения, выражаемые в виде линейной комбинации экспоненциальных (4) или степенных (5) функций, могут быть применены для описания *последовательностей ранжированных* (упорядоченных слева направо) *амплитуд* (ПРА), удовлетворяющих соотношениям (4) или (5), если построить их в соответствующих координатах.

Проверка на доступных нам данных (оптические данные, данные ЭПР, метеоданные, астрономические данные, радиационные данные, экономические данные и др.) показала, что этот принцип *действительно* реализуется в реальности, и функция распределения относительных флуктуаций, примененная к описанию огибающей ПРА, *действительно* описывается некоторым линейным набором экспоненциальных или степенных функций, отраженных в решениях функциональных уравнений (4) или (5). По своей геометрической сути ПРА представляет собой функцию, обратную гистограмме, но, в отличие от гистограммы, она *не* содержит неконтролируемых ошибок и *не* имеет обратной функции, восстанавливающей её до

обычной гистограммы. Подгоночные параметры линейной комбинации экспоненциальных или степенных функций могут быть использованы в качестве универсальных количественных меток для описания произвольного детрендированного шума, представленного в форме ПРА, и для сравнения произвольных случайных последовательностей друг с другом с помощью набора редуцированных подгоночных параметров, в которых описывается найденная функция распределения относительных флуктуаций. Проблема разработки методов по количественному и универсальному прочтению произвольной случайной детрендированной функции тесно связана с дискуссией двух известных биофизиков, доказывающих (С.Э. Шноль) и оспаривающих (А.М. Хазен) существование универсальных гистограмм. Подробности и ссылки на соответствующую литературу можно найти в нашей работе [28].

#### 4. Возможные применения

Новые методы, излагаемые в этой статье, прошедшие предварительную апробацию на реальных данных, доступных автору, позволили выйти на задачи, которые *никогда* ранее не решались или решались на интуитивном (качественном) уровне без количественного сравнения случайных функций, регистрируемых различными сенсорами или датчиками. По нашему мнению, эффективность новых методов наиболее ярко проявляется в решении следующих, важных для практических приложений, задач.

**4.1. Сравнение с эталонным прибором и самопроверка готовности сложного прибора к работе.** Допустим, что какая-то известная фирма выпускает дорогие приборы, предназначенные для проведения высокоточных и надежных измерений. Группа квалифицированных инженеров готовит эталонный прибор к измерениям такого рода, калибруя и проверяя все наиболее важные узлы прибора: сенсоры, датчики и ячейки, которые непосредственно участвуют в процессе измерения. Можно с помощью надежных и откалиброванных датчиков снять различные шумы (тепловые, акустические, вибро-, электромагнитные и др.) с наиболее ответственных частей эталонного прибора и с помощью новых методов откалибровать их по количественным меткам, соответствующим его оптимальной работе. Затем определить класс точности и задать возможный диапазон отклонений количественных параметров, соответствующих рабочему диапазону прибора и включающих в себя их возможные флуктуации, соответствующие предельным режимам его работы. И, наконец, весь набор этих количественных параметров и их возможные флуктуации занести в компьютер для сравнения. Тогда диагностика (калибровка) второго, третьего и последующего приборов значительно упрощается и удешевляется по стоимости, так как компьютер производит «опрос» шумовых датчиков диагностируемого прибора с эталонным. Там, где эти сравнения не проходят, группа инженеров занимается поиском причин такого дисбаланса и несовпадения.

Если эксплуатация прибора происходит в течение длительного времени, то по количественным параметрам, которые вычисляются по данным шумовых датчиков, можно определить тенденцию к *старению* диагностируемого прибора и вовремя заменить тот узел, который наиболее подвержен этому процессу. Более того, по этим опросам можно найти режим оптимальной готовности прибора к работе и заложить это требование в режим его «оптимального» включения. Ранее понятие «готовности прибора к работе» была отдана на откуп интуиции обслуживающего персонала.

Можно наладить выпуск такой диагностирующей аппаратуры *независимо* от выполняемых функций диагностируемого прибора и таким образом определить

оптимальный режим его работы и дальнейшей эксплуатации. В качестве таких дорогостоящих приборов могут выступать турбины электростанций, двигатели самолетов, вертолетов, ракет и другое дорогое оборудование, требующее тщательной калибровки и строгого соблюдения режимов его работы и контроля узлов, имеющих наиболее высокую вероятность отказа. Практически эти задачи получили своё решение [18, 19] в лабораториях Великобритании, где были созданы условия для их решения новыми методами.

**4.2. Защита дорогостоящего оборудования и ценных документов от подделок.** Ускорение научно-технического прогресса, усиление товарно-денежного обмена между государствами в современных условиях развития свободного рынка товаров и услуг приводит к активизации и увеличению числа международных и региональных преступных групп, производящих контрафактную продукцию и профессионально подделывающих банковские карточки, казначейские билеты и другое дорогостоящее оборудование (дорогие микрочипы, оригинальные сенсоры, датчики) и пр. Эта деятельность приводит к существенным потерям доходов легальных фирм-производителей и к нарушениям в системе денежного обращения вследствие изготовления большого количества фальшивых казначейских билетов довольно высокого качества. Если добавить сюда участвовавшие случаи подделок кредитных карточек, то можно сделать вывод о том, что проблема защиты товарных знаков легальных фирм-производителей, казначейских билетов, пластиковых карточек и других ценных документов и узлов дорогостоящих приборов от подделок является *актуальной* задачей, требующей надежного и оригинального решения. Не перечисляя методов защиты, которые основаны на разнообразных формах микропечати и голографии, можно предложить новый и оригинальный метод создания особой защитной пленки, вскрытие которой не имеет смысла (так как эта операция сразу же нарушает целостность защищаемого покрытия), а её идентификация происходит по *оригинальному* алгоритму, основанному на количественном прочтении случайной последовательности новыми методами. Создание прозрачной защитной пленки основано на имплантации групп редкоземельных ионов в химически инертный полимер; имплантируемые ионы имеют спектры испускания и поглощения, расположенные вне видимого светового диапазона, что позволяет считать их «невидимыми» для современных сканеров и принтеров. Нанесенные через специальный шаблон в места, не известные потенциальным мошенникам, они имеют несколько степеней защиты.

**Первой степенью** защиты служат секретные (известные только производителю пленки) места локализации активных наноточек, которые могут быть нанесены с помощью специального шаблона (трафарета) с меняющейся геометрией. Поэтому каждый заказчик может получить свою «геометрию» локализации, и число таких сочетаний (также защищающих пленку от подделок) может достигать астрономических величин.

**Второй степенью** защиты служит сам регистрируемый спектр (диапазон излучения и поглощения которого неизвестен потенциальным мошенникам) и «защитный» в микрочип оригинальный алгоритм считывания спектров излучения редкоземельных ионов. Этот алгоритм позволяет прочесть количественно *любой* случайный спектр (безотносительно к физическим принципам излучения этих ионов) и выразить этот спектр в форме некоторого набора закодированных подгрупповых параметров. Поэтому, даже если потенциальные мошенники узнают секретные места локализации наноточек, они принципиально не смогут узнать алгоритм обработки случайных спектров, который будет известен только программисту, создающему данный микрочип.

Для большой надежности эти ступени защиты могут быть разделены между двумя независимыми группами производителей, которые не знают о производственных секретах друг друга. Предлагаемый алгоритм по обработке шумов уже доказал свою эффективность на многих реальных данных [18, 19] и, в настоящее время, защищен патентом РФ с приоритетом от 29.05.07 [29]. Можно было бы осуществить пилотное исследование по выбору подходящего полимера, подбору вида и оптимальной концентрации редкоземельных ионов, обеспечивающих надежное воспроизведение спектров излучения (флюоресценции) и поглощения в ИК- и УФ-диапазонах соответственно. После получения опытного образца защитной пленки необходимо исследовать ее флуоресцентные свойства и параметры, а затем произвести настройку оригинального алгоритма и создание микрочипа, обеспечивающего «попадание» набора подгоночных параметров в диапазон распознавания его портативным считывающим устройством. В силу малого размера распознающей и идентифицирующей программы её можно будет «защитить» в виде микрочипа, встроенного, например, в мобильный телефон. Дальнейшее обсуждение этой идеи возможно лишь при условии, что найдется лаборатория и спонсоры в лице государства или частного бизнеса, которых заинтересует эта идея. Её возможная реализация затрагивает интересы третьей стороны, и поэтому дальнейшие детали, связанные с практической реализацией этой идеи, по вполне понятным причинам опущены.

**4.3. Диагностика заболеваний, основанная на количественном прочтении шумов, которые регистрируются в организме человека.** Основываясь на аналогии, что дорогостоящий прибор – это тот же человек, а его органы – это те же сенсоры, датчики и измерительные ячейки, с которых можно снять и «прочитать» шумы самой различной природы, можно сильно продвинуться в детектировании *плохо диагностируемых* заболеваний. Здесь предлагаемые выше методы могут быть «нацелены» на повышение чувствительности уже существующих методов диагностики либо на создание новых методов диагностики, основанных на количественном прочтении наиболее информативных шумов (акустических, вибро-, механических, тепловых, электромагнитных и др.), регистрируемых от работающего органа.

**4.4. Повышение чувствительности существующих спектрометров и создание сверхчувствительных сенсоров для газоанализаторов и хроматографов.** Предварительные исследования показывают, что за счет аккуратного «прочтения» флуктуационных шумов, появляющихся при малых значениях концентраций детектируемого вещества, можно увеличить чувствительность обычной аппаратуры примерно на порядок от существующих предельных величин. При этом калибровочная кривая, построенная по отношению к изменению величины концентрации регистрируемого вещества, может быть *нелинейной* [13, 14]. Наиболее перспективным приложением новых методов может служить создание сверхчувствительных газовых или жидкостных анализаторов, настроенных на обнаружение взрывчатых веществ, алкоголя и наркотиков.

## 5. Результаты и выводы

Подводя предварительные итоги, которые связаны с разработкой неинвазивных методов по количественному прочтению произвольной случайной функции, можно прийти к следующим выводам.

1. Ранжирование случайных (неучтенных) факторов в реальных измерениях



происходит совершенно по другому сценарию.

Если сценарий распределения малых случайных величин (факторов) по Гауссу предполагает их равноправие и отсутствие корреляции между ними, то реальность подсказывает совершенно другой принцип. Скорее всего влияние совокупности малых (внешних и внутренних) факторов строится по иерархическому (самоподобному) принципу. Вначале на результат измерения влияет самый большой по интенсивности фактор, а затем (если его влияние по каким-либо причинам ослабевает) его место по влиянию на изучаемое событие (явление) занимает второй по значимости фактор и т. д. Именно эта иерархия влияния факторов (в течение некоторого промежутка времени) позволяет объяснить универсальный принцип построения гипотезы, описывающей ПРА; её функциональная форма остается стабильной, и порождена она (на каком-то временном отрезке) преимущественно влиянием сильно-коррелированных событий, имевших место в ближайшем прошлом. Если какое-то событие оказывает ослабевающее влияние, то в иерархии возмущений псевдошума, математически выраженных в форме экспоненциальной или степенной функции, всегда находится следующий по рангу член с максимальной корреляцией, который может заменить или даже подавить доминантное событие.

2. Проверка решений уравнений на доступных автору данных показывает, что линейная комбинация экспоненциальных (4) или степенных (5) (хотя бы и приближенно) удивительным образом описывают ПРА в экспериментах самой различной природы. Разумеется, недовольство парадигмой Гаусса среди исследователей копилось исподволь довольно долго. Разными авторами накапливались обоснованные свидетельства о том, что оно не отвечает потребностям эксперимента. Вначале это недовольство выразилось в создании самых разнообразных распределений, описывающих гистограммы реальных явлений, но многие из них (в силу самых разных причин) не нашли своего экспериментального подтверждения. В наше время, в связи с интенсивным развитием вычислительной техники и повышением точности измерений, число доказательств «негауссовского» поведения резко возросло. Многие авторы стали подразделять существующий шум на «белый», «фрактальный», «цветной» и пр., но, к сожалению, критерии такого разделения носили и носят до сих пор приближенный характер.

3. Разумеется, существовали и другие доказательства о том, что многие «придуманные» распределения не описывают реальных данных, но достаточно убедительная аргументация, основанная на широком массиве экспериментальных данных, и указания на возможность существования некоей универсальной функции распределения были даны в обзорной работе [30]. Только после выхода этой работы появились реальные возможности по переосмыслению базовой парадигмы современной статистики и нахождению убедительных доказательств, которые бы позволили заменить гипотезу, приводящую к нормальному распределению, на другую гипотезу, более соответствующую реальности. В связи с этим нельзя обойти вниманием работы [31, 32], где прозвучала серьезная критика результатов работы [30]. Внимательно ознакомившись с критическими замечаниями, связанными с обоснованием существования универсальной гистограммы, можно сказать, что новая истина находится посередине, а высказанные замечания, связанные в основном с выбором методом исследования, лишь позволяют более точно локализовать её границы.

4. Как следует из результатов, полученных в работах автора [26, 27], чтобы уйти от ошибок и субъективной критики, связанных с построением гистограммы, необходимо заменить её на ПРА. Эта замена сразу же «гасит» многие замечания, высказанные в [31, 32] относительно построения гистограммы. Более того, замена гистограммы на соответствующую ПРА становится необходимой в связи

с тем обстоятельством, что решения, следующие из уравнений (3), (4) для подгонки ПРА, не имеют обратной функции, а попытки найти аналитический вид универсальной гистограммы заранее обречены на неудачу. Эта неудача была ещё связана и с тем фактом, что принцип (постулат), положенный в основу построения «универсальной» гистограммы в работе [30], не был даже обозначен или сформулирован. А субъективные моменты и неконтролируемые приближения, существующие в используемой методике, и попытка объяснить универсальность происхождения гистограммы глобальными космическими факторами, сразу же вызвали появление критических статей [31–34]. Если попытаться кратко сформулировать содержание работ [26, 27], то основной результат будет выглядеть следующим образом: основываясь на *проверяемой* гипотезе о сильной коррелированности ПРА для относительных флуктуаций, можно теоретически обосновать общие гипотезы (4) или (5) и показать их применимость для описания огибающих ПРА относительных флуктуаций на доступном экспериментальном материале. Возможная тонкая структура огибающих ПРА также существует и связана с дискретным характером измерений. Что касается влияния различных неучтенных факторов, разбираемых в статьях [31–34], то никто не будет отрицать их существования. Их влияние будет сказываться на значениях подгоночных параметров, которые описывают изучаемую ПРА. Иными словами, если исследователь задает один доминантный (возрастающий или убывающий) фактор, к примеру, температуру, концентрацию и пр., то значения подгоночных параметров должны будут «почувствовать» такое доминантное поведение. Но может случиться так, что влияние задаваемого исследователем фактора ослабеет, тогда оно должно замениться влиянием другого неучтенного фактора, и его влияние может быть также количественно прочитано в терминах подгоночных параметров функций (4) и (5). Поэтому на данный момент можно утверждать о частичной правоте обеих сторон. Универсальная огибающая действительно существует, хотя её необходимо проверять и дальше, расширяя массив различных данных, специально измеренных для проверки этой гипотезы.

5. Как показывает анализ реальных данных, гипотеза о «предопределении» будущего как *линейной* комбинацией сходных (читай сильно-коррелированных) событий, имевших место в прошлом», подтверждается, по крайней мере, для случаев, когда события носят фрактальный (самоподобный) характер. Это открывает новые возможности для создания *унифицированного* и эффективного инструмента по анализу трендов и их флуктуаций *по отдельности*. Причем арсенал математических методов, используемых для такого анализа, должен удовлетворять требованиям, перечисленным выше, то есть быть *неинвазивным*.

### Summary

*R.R. Nigmatullin.* Nanonoise: new non-invasive methods to read random sequences quantitatively.

The basics for new non-invasive methods to read random sequences quantitatively are reviewed with regard to possible applications to nanosystems. The problems to be solved by the proposed methods are also revealed in the article.

### Литература

1. *Дьяконов В.П.* Вейвлеты. От теории к практике. – М.: Солон-Р, 2002. – 448 с.
2. *Чуи К.* Введение в вейвлеты / Пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 416 с.
3. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. – 1998. – Т. 166, № 11. – С. 1145–1170.

4. *Новиков И.Я., Стечкин С.Б.* Основы теории всплесков // УМН. – 1998. – Т. 53, № 6. – С. 53–128.
5. *Новиков Л.В.* Основы вейвлет-анализа сигналов. – СПб.: Изд-во ООО «Модус+», 1999. – 152 с.
6. *Yulmetyev R., Hanggi P., Gafarov F.* Stochastic dynamics of time correlation in complex systems with discrete time // Phys. Rev. E. – 2000. – V. 62, No 5. – P. 6178–6194.
7. *Yulmetyev R., Hanggi P., Gafarov F.* Quantification of heart rate variability by discrete nonstationary non-Markov stochastic processes // Phys. Rev. E. – 2002. – V. 65. – P. 046107.
8. *Yulmetyev R.M., Gafarov F.M., Yulmetyeva D.G., Emelyanova N.A.* Intensity approximation of random fluctuation in complex systems // Physica A. – 2002. – V. 303. – P. 427–438.
9. *Timashev S.F.* A New Dialogue with Nature // Broomhead D.S., Luchinskaya E.A., McClintock P.V.E., Mulin T. (eds). Stochastic and Chaotic Dynamics in the Lakes – STOCHAOS. – Melville, New York: AIP Conf. Proc., 2000. – P. 238–243.
10. *Timashev S.F.* Self-Similarity in Nature // Broomhead D.S., Luchinskaya E.A., McClintock P.V.E., Mulin T. (eds). Stochastic and Chaotic Dynamics in the Lakes – STOCHAOS. – Melville, New York: AIP Conf. Proc., 2000. – P. 562–566.
11. *Timashev S.F.* Flicker-Noise spectroscopy as a tool for analysis of fluctuations in physical systems in noise in physical systems and  $1/f$  fluctuations // ICNF 2001 / Ed. G. Boman. – New Jersey; London: World Scientific, 2001. – P. 775–778.
12. *Timashev S.F., Polyakov Yu.S.* Review of Flicker Noise Spectroscopy in Electrochemistry // Fluctuation and Noise Lett. – 2007. – V. 7, No 2. – P. R15–R47.
13. *Нигматуллин Р.Р.* Статистика дробных моментов: новый метод количественного прочтения случайной последовательности // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2005. – Т. 147, кн. 2. – С. 129–161.
14. *Nigmatullin R.R.* The statistics of the fractional moments: Is there any chance to read “quantitatively” any randomness? // Signal Processing. – 2006. – V. 86. – P. 2529–2547.
15. *Nigmatullin R.R.* Eigen-Coordinates: New method of identification of analytical functions in experimental measurements // Appl. Magnetic Reson. – 1998. – V. 14. – P. 601–633.
16. *Nigmatullin R.R.* Recognition of nonextensive statistic distribution by the eigen-coordinates method // Physica A. – 2000. – V. 285. – P. 547–565.
17. *Abdul-Gader Jafar M.M., Nigmatullin R.R.* Identification of a new function model for the AC-impedance of thermally evaporated (undoped) selenium films using the eigen-coordinates method // Thin Solid Films. – 2001. – V. 396. – P. 280–294.
18. *Nigmatullin R.R., Smith G.* The Generalized Mean Value Function Approach: New Statistical Tool for the Detection of Weak Signals in Spectroscopy // J. Phys. D: Applied Physics. – 2005. – V. 38. – P. 328–337.
19. *Nigmatullin R.R., Moroz A., Smith G.* Application of the Generalized Mean Value Function to the Statistical Detection of Water in Decane by Near-Infrared Spectroscopy // Physica A. – 2005. – V. 352. – P. 379–396.
20. *Pershin S.M., Bunkin A.F., Lukyanchenko V.A., Nigmatullin R.R.* Detection of the OH band fine structure in liquid water by means of new treatment procedure based on the statistics of the fractional moments // Laser Phys. Lett. – 2007. – V. 4, No 11. – P. 808–813.
21. *Nigmatullin R.R., Arbuzov A.A., Nelson S.O., Trabelsi S.* Dielectric Relaxation of Complex Systems: Quality Sensing and Dielectric Properties of Honeydew Melons from 10 MHz to 1.8 GHz // Journal of Instrumentation. – 2006. – No 1. – Art. P10002.

22. *Kendall M.G., Stuart A.* The advanced theory of statistics. V. 1. Distribution Theory. – London: Charles Griffin & Co. Ltd, 1958. – 438 p.
23. *Эльясберг П.Э.* Измерительная информация: сколько её нужно? Как её обрабатывать? – М.: Наука, 1983. – 208 с.
24. Справочник по специальным функциям (с формулами, графиками и таблицами) / Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – Гл. 3, разд. 3.2.
25. *Tsallis C.* Nonextensive Statistics: Theoretical, Experimental and Computational Evidences and Connections // *Brazilian Journal of Physics*. – 1999. – V. 29, No 1. – P. 1–35.
26. *Нигматуллин Р.Р.* Универсальная функция распределения флуктуаций сильно коррелированных систем // *Нелинейный Мир*. – 2007. – Т. 5, № 9.
27. *Nigmatullin R.R.* Strongly correlated variables and existence of a universal distribution function for relative fluctuations // *Physics of Wave Phenomena* (has been accepted for publication).
28. *Нигматуллин Р.Р.* Над схваткой: Могут ли быть одновременно правы два «тяжеловеса» С.Э. Шноль и А.М. Хазен? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/arts/>, сводобный.
29. Пат. 021456 Российская Федерация МПК-8: G06K5/04, 7/10, 7/12. Способ маркировки и идентификации объекта / Нигматуллин Р.Р., Першин С.М., Шарафутдинов О.Б. – № 2007119680; приоритет 29.05.07.
30. *Шноль С.Э., Коломбет В.А., Пожарский Э.В., Зенченко Т.А., Зверева И.М., Конрадов А.А.* О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах // *УФН*. – 1998. – Т. 168, № 10. – С. 1130–1140.
31. *Иванченко Ю.Г.* К вопросу о макроскопических флуктуациях при измерении радиоактивности // *Биофизика*. – 1989. – Т. 34, Вып. 4. – С. 732–735.
32. *Иванченко Ю.Г.* «Эффект Шноля» – мифы и реальность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6959.html>, свободный.
33. *Хазен А.М.* Феномен «Чернавского – Шноля» влияния менструаций у женщин на радиоактивный распад плутония 239 и тонкую структуру статистических распределений как следствие космофизических причин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://kirsoft/com.ru/intell/KSNews\\_60.htm](http://kirsoft/com.ru/intell/KSNews_60.htm), свободный.
34. *Хазен А.М.* О лженауке и об ошибках в науке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://kirsoft/com.ru/intell/KSNews\\_60.htm](http://kirsoft/com.ru/intell/KSNews_60.htm), свободный.

Поступила в редакцию  
21.09.07

---

**Нигматуллин Равиль Рашидович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики Казанского государственного университета.  
E-mail: [nigmat@knet.ru](mailto:nigmat@knet.ru)