



Анализ полученных результатов показал, что моделируемый спектр достаточно адекватен реальным оптическим свойствам воды в области упругих ионных колебаний молекулы воды H_2O .

Заключение

Проведенное моделирование спектра оптического показателя преломления воды показало, что применение моделей (6) и (16) более эффективно, чем описание вида (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В.* Оптические постоянные природных и технических сред. Справочник. Л.: Химия, 1984.
2. *Еремина В.В., Костюков Н.С., Тюрина С.Ю.* Моделирование оптического спектра воды в области упругих видов поляризации // Информатика и системы управления. 2003. № 2(6). С. 9-14.
3. *Юхневич Г.В.* Инфракрасная спектроскопия воды. М.: Наука, 1973.
4. *Еремина В.В., Костюков Н.С., Тюрина С.Ю.* Математические модели процессов упругой ионной поляризации воды // Вестник АмГУ. 2004. № 25. С. 20-22.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.С. Астаповой.

УДК 621.391

© 2004 г. **А.В. Левенец**, канд. техн. наук,

Чье Ен Ун, д-р техн. наук

(Хабаровский государственный технический университет)

Цинь Хуну

(Чанчуньский университет, Китай)

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ МОДЕЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ АР-ПРОЦЕССОВ

Для определения потенциальных возможностей деятельности сигналов как модели автоматического восстановления случайных процессов определяются специфические для них ошибки.

Введение

При формировании исходных сигналов, необходимых для исследования поведения модели технической системы, наибольшее распростране-

ние находят модели авторегрессии – скользящего среднего (АРСС) [1 – 3]. Это связано как с простотой реализации таких моделей случайных величин, так и с небольшим количеством параметров самой модели, которыми необходимо оперировать. Следует отметить, что АР-процессы описывают большую часть реальных физических процессов, поэтому в данной работе рассматриваются только такие модели случайных процессов.

Известно, что применяемые модели белого шума, на основе которых формируется АР-процесс, имеют негладкие спектральные функции, характеризующиеся значительными выбросами даже при проведении усреднения по нескольким реализациям. Такие искажения спектра наследуются АР-процессом и приводят к искажению формы его собственного спектра.

Другими погрешностями, характерными для АР-процессов, является искажение формы спектра процесса за счет конечного размера выборки, нестационарности исходной конечномерной реализации белого шума, а также за счет вычислительных погрешностей.

Таким образом, для получения статистически адекватных оценок поведения исследуемой технической системы при использовании моделей АР-процессов следует провести изучение погрешностей моделирования, свойственных этим моделям.

С точки зрения выбора оптимального для конкретной задачи моделирования случайного процесса решения, определенным интересом представляет выбор типа программного генератора исходного белого гауссовского шума (БГШ). Так, можно использовать качественный, но требующий больших вычислительных ресурсов генератор либо ограничиться более простым генератором, обладающим менее стабильными статистическими характеристиками.

В данной работе рассматривались два программных генератора нормально распределенных случайных величин. Во-первых, генератор на базе преобразования величин с равномерным распределением по следующей формуле [4]:

$$E_t^N = \sin(2\pi E_{t-1}) \sqrt{2\sigma_e^2 \ln \frac{1}{E_t}}.$$

Во-вторых, генератор, в основе которого лежит суммирование некоторого числа отсчетов реализаций равномерно распределенного случайного процесса. В этом случае, согласно центральной предельной теореме Ляпунова, результирующий отсчет должен иметь нормальный закон распределения. В данной работе суммировались 14 отсчетов различных реализаций равномерно распределенного случайного процесса.

На рис. 1а (модель на базе генератора БГШ первого типа) приведены примеры теоретических и реальных спектров для АР(1)-процесса, полученного на базе генератора БГШ первого типа, а также соответствующие погрешности, вычисленные для спектральной области.

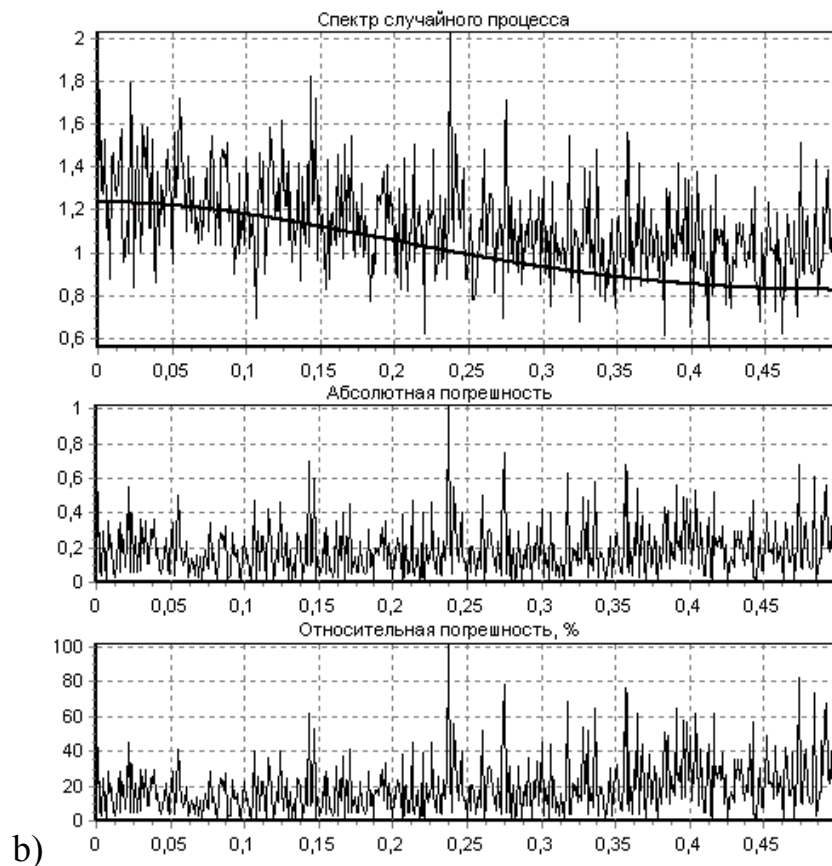
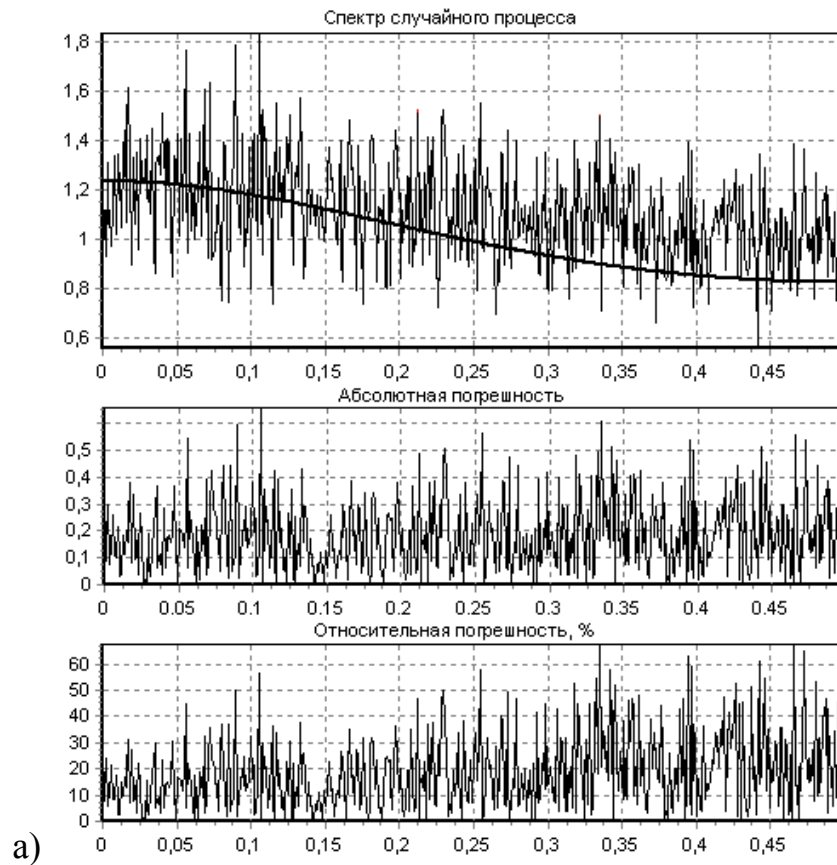


Рис. 1. Погрешности моделирования $AR(1)$ -процесса программными генераторами БГШ различного типа.

Для случая использования генератора второго типа аналогичные графики приведены на рис. 1b (модель на базе генератора БГШ второго типа). Следует отметить, что для обоих случаев реальный спектр определялся усреднением по 10 реализациям АР-процессов.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что тип генератора БГШ не оказывает принципиального влияния на погрешность моделирования АРСС-процессов в спектральной области. Необходимо отметить, что как для процессов авторегрессии, так и для процессов скользящего среднего поведение погрешностей для программных генераторов БГШ разного типа одинаково. Таким образом, в дальнейшем анализ погрешностей моделирования АРСС-процессов проводился с использованием генератора БГШ только первого типа.

Для получения более полного представления о поведении погрешностей АРСС-процесса при изменении его параметров использовались три критерия искажения формы спектра, вычисляемые по следующим формулам:

максимальная погрешность во всей спектральной области

$$L_1 = \max_i [S(i) - S_T(i)];$$

выборочное среднее погрешности по всей спектральной области

$$L_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} [S(i) - S_T(i)];$$

среднеквадратическое отклонение погрешности по всей спектральной области

$$L_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} [S(i) - S_T(i)]^2,$$

где $S(i)$ – i -я составляющая спектра модели исследуемого АР-процесса; $S_T(i)$ – i -я составляющая теоретически вычисленного спектра исследуемого АРСС-процесса; N – размер выборки.

Вычисляя оценки L_i для каждого значения каждого параметра АР-процесса, можно получить общее представление о поведении погрешности модели в зависимости от этого параметра.

Для повышения достоверности вычислялась усредненная по нескольким реализациям оценка L_m , причем усреднение проводилось как для спектров реализаций белого шума, так и для АРСС-процессов перед вычислением собственно оценки. Следует отметить, что величины коэффициентов авторегрессии находились в диапазоне $-0,8 \dots +0,99$, что необходимо для обеспечения условия стационарности выходного АРСС-процесса [3]. Величины коэффициентов скользящего среднего находились в таких же пределах, исходя из соображений симметричности.

Как было указано, на практике наиболее часто находят применение

AR-модели случайных процессов, поэтому исследование свойственных им погрешностей будет иметь наибольший практический результат.

На рис. 2 (максимальная погрешность и выборочное среднее) показаны зависимости оценок $L(a_1)$, полученные для AR(1)-процесса, с усреднением по десяти реализациям. Размер выборки принимался равным 512 (т.е. 2^9), так как для вычисления спектральных функций сигналов использовался классический алгоритм БПФ с прореживанием по времени.

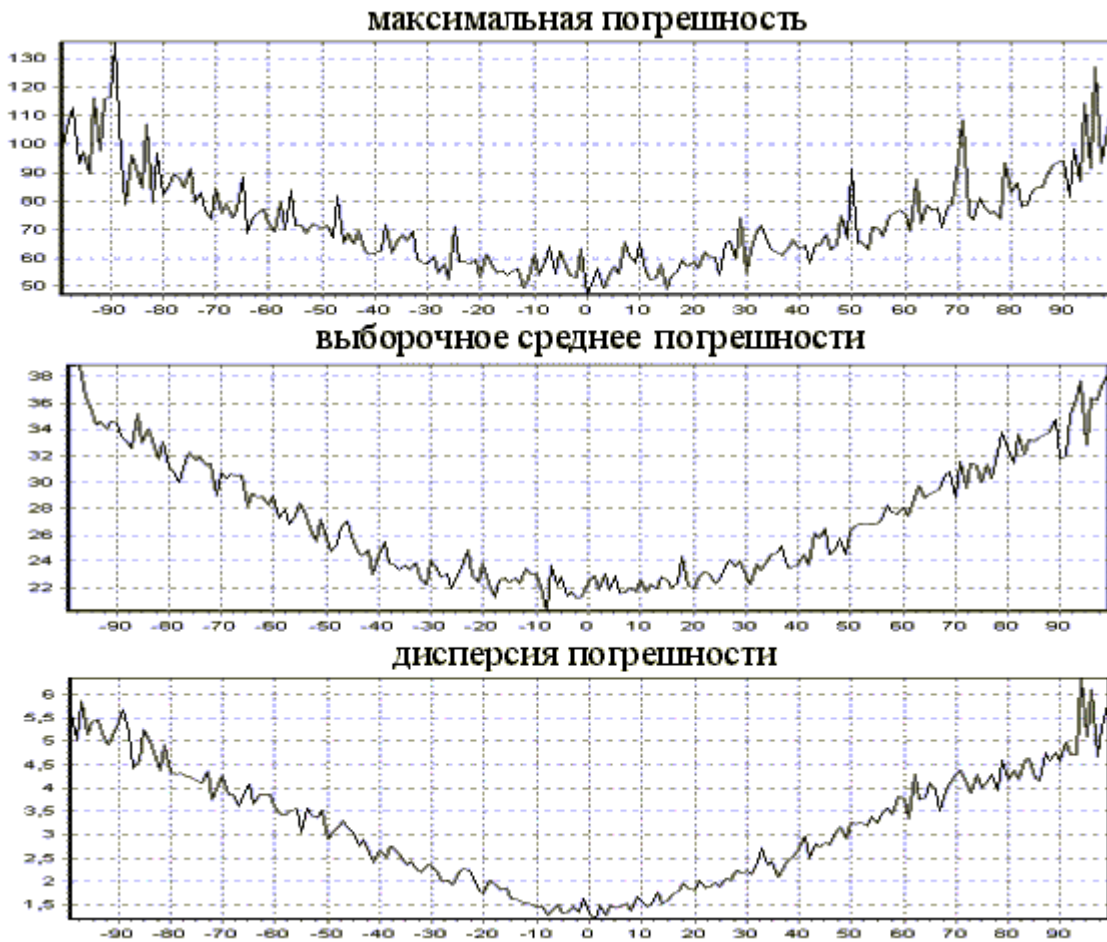


Рис. 2. Оценки погрешности для AR(1)-моделей.

На рис. 2 по оси абсцисс отложены значения параметра AR(1)-процесса, причем для получения реального значения параметра соответствующее число нужно разделить на 100.

Из графиков следует, что разные погрешности для AR-процесса ведут себя с увеличением коэффициента a_1 по-разному. Максимальная погрешность растет примерно линейно с увеличением $|a_1|$, что можно объяснить сложностью получения больших значений как низкочастотных, так и высокочастотных составляющих при ограниченном размере выборки.

Выборочное среднее погрешности имеет максимум при значениях коэффициента a_1 , стремящихся к нулю, что можно объяснить слишком большим коэффициентом усиления формирующего фильтра в полосе подавления входного сигнала. Дисперсия погрешности имеет форму, приближающуюся к косинусоиду, что отражает математическое содержание

формул теоретического представления АЧХ формирующего фильтра.

Исследования проводились и для АР(2)-процессов. Результаты приведены на рис. 3, причем по осям абсцисс и ординат откладываются значения коэффициентов авторегрессии a_1 и a_2 . Условия исследования совпадают с условиями для АР(1)-процессов.

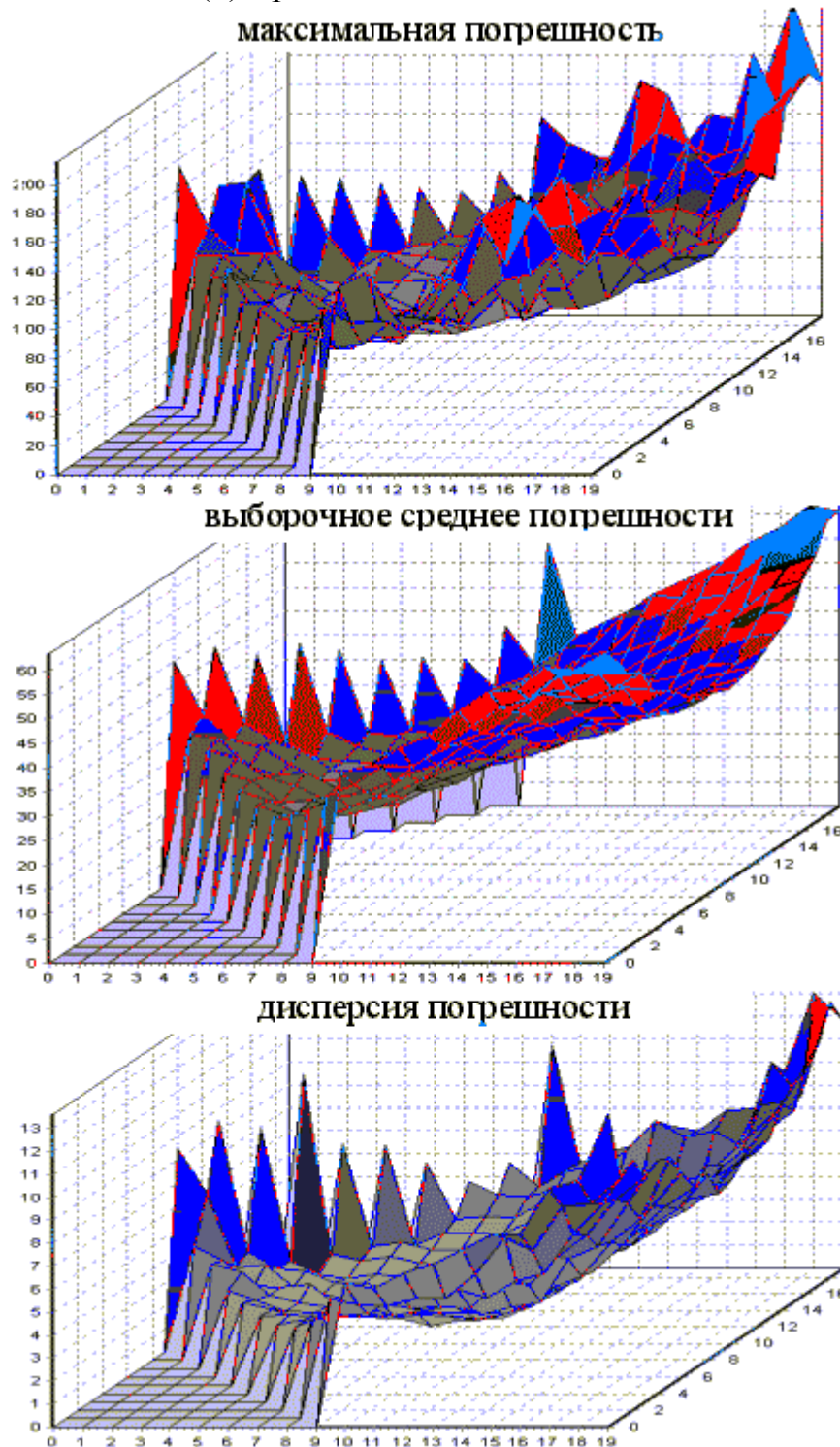


Рис. 3. Оценки погрешности для АР(2)-моделей.

Для графиков погрешностей характерно, что максимум погрешности приходится на тот случай, когда оба коэффициента приближаются по мо-



дулю к единице, причем это свойственно всем видам погрешностей.

Таким образом, АР-процессы позволяют моделировать практически все виды измерительных сигналов, что при малом числе параметров и простоте вычислений делает их весьма привлекательными для практического использования. Это ставит в повестку дня задачу исследования погрешностей моделирования. Для более полного представления о поведении погрешностей в области изменения коэффициентов АР-модели в данной работе было предложено использовать несколько оценок погрешностей, характеризующих таковые во всем спектральном диапазоне. Исследования показали, что для всех моделей АР-процессов свойственно резкое повышение погрешностей моделирования, происходящих в областях максимальных значений коэффициентов АР-моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кендалл М., Стьюарт А.* Многомерный статистический анализ и временные ряды. /Пер. с англ. М.: Наука, 1976.
2. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986.
3. *Кармалита В.А.* Цифровая обработка случайных колебаний. М.: Машиностроение, 1986.
4. *Дьяконов В.П.* Справочник по алгоритмам и программа на языке Бейсик для персональных ЭВМ. М.: Наука, 1987.

УДК 620.179.16

© 2004 г. **В.Н. Овчарук**

(Хабаровский государственный технический университет)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ НЕУПРУГОДЕФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОФАРФОРА

В работе приводятся результаты исследования и методика обработки спектральных характеристик сигналов акустической эмиссии (АЭ).

Введение

В процессе испытаний на изгиб неупругодеформирующегося электрофарфора был установлен эффект наличия сигналов АЭ после разрушения образцов (разделения на части). Процесс излучения сигналов АЭ после