

УДК 004.89

Н. А. ЗАЙКО

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ

На базе комплексного подхода к определению погрешностей реализована интеллектуальная измерительная система, в рамках которой используются традиционные и оригинальные алгоритмы измерения вероятностных характеристик случайных процессов. Для каждого из них даны оценки точности статистических измерений. *Комплексный подход; погрешность; интеллектуальная система; вероятностные характеристики; случайный процесс*

На пороге нового тысячелетия человечество пришло к осознанию необходимости всеобщей компьютеризации измерений, которая послужила толчком к развитию функциональных возможностей измерительных средств, что привело к необходимости пересмотра принципов организации их работы и созданию интеллектуальных измерительных систем (ИнИС) нового поколения. Сегодня одним из основополагающих направлений развития систем сбора, обработки информации и управления является их интеллектуализация, т. е. придание им способности определения своего целесообразного поведения (алгоритма функционирования) в зависимости от изменяющихся условий их работы (текущих задач измерения и управления, входных воздействий, внутреннего состояния и имеющихся ресурсов) и требуемой точности измерений. Теоретическим базисом для построения интеллектуальных систем является теория искусственного интеллекта. Решаемые этими системами задачи имеют очевидную специфику, определяемую измерительными и метрологическими аспектами проблемы, которые в полной мере не учитываются. Поэтому вопросы интеллектуализации измерительных систем представляют все больший интерес. Следовательно, возникает необходимость в более четком определении концепции ИнИС требуемой точности, что позволило бы с единых позиций взглянуть на интеллектуализацию измерительной техники [1].

В рамках данной работы рассматривается разработка и исследование ИнИС требуемой точности для анализа вероятностных характеристик случайных процессов и выда-

ча рекомендаций для их реализации. В качестве методологического стержня для решения сформулированной задачи предполагается использовать комплексный подход к определению погрешностей ИнИС.

При создании системы необходимо решить следующие задачи:

- разработка информационного обеспечения — базы данных измерений и базы знаний алгоритмов обработки измерений;
- разработка математического обеспечения, реализующего численные методы;
- разработка программного обеспечения, которое реализует математическое обеспечение и обеспечивает интеллектуальный интерфейс с пользователем.

1. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Идея комплексного подхода заключается в том, чтобы рассматривать погрешность измерений как единое и неделимое целое, трансформирующееся с изменением режимов измерений, условий эксплуатации и других факторов. При этом учитываются основные факторы, влияющие на точность статистических измерений: погрешности отсчетов, алгоритмов восстановления сигналов между отсчетами, шага дискретизации, объема выборки и длины реализации. Он хорошо согласуется с экспериментальным методом и имитационным моделированием.

Применение эргодического свойства для измерения плотностей вероятностей случайных процессов. Для случайных эргодических про-

цессов оценки одномерной $\langle \varpi_1[X] \rangle$ и двумерной $\langle \varpi_2[X', X''] \rangle$ плотностей вероятностей равны [2]

$$\langle \varpi_1[X] \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \varpi_1[X|x(t)] dt; \quad (1)$$

$$\langle \varpi_2[X', X''] \rangle = \frac{1}{T - |t'' - t'|} \times \int_0^{T - |t'' - t'|} \varpi_2[X', X''|x(t)] dt, \quad (2)$$

где $x(t)$ — измеренная аналоговым способом реализация случайного процесса, а T — ее длительность.

При цифровых измерениях с равномерным шагом дискретизации $T_0 = T_{I+1} - T_I$, где I — номер показания, и экстраполяции сигнала $X(T)$ по одному предыдущему показанию X_I , выражения (1) и (2) принимают вид [3]

$$\langle \varpi_1[X] \rangle = \frac{1}{nT_0} \sum_{i=1}^n \int_{t_i}^{t_{i+1}} \varpi_1[X|x_i] dt; \quad (3)$$

$$\langle \varpi_2[X', X''] \rangle = \frac{1}{(n - \mu)T_0} \times \sum_{i=1}^{n-\mu} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \varpi_2[X', X''|x_i] dt, \quad (4)$$

где $\varpi_1[X|x_i]$ и $\varpi_2[X', X''|x_i]$ — одномерная и двумерная плотности вероятности сигнала в моменты времени $t, t',$ и t'' при условии, что на интервале $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ он экстраполирован по показанию x_i ; $\mu = |t'' - t'|/T_0 = 1, 2, \dots, (n - 1)$; n — количество показаний реализации $x(t)$.

Измерение моментных характеристик случайных процессов. По определению, оценки математического ожидания $\langle M \rangle$, дисперсии $\langle \sigma^2 \rangle$ и корреляционной функции $\langle R(T'' - T') \rangle$ находятся как моменты оценок (3), (4) и равны [4]

$$\langle m \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} X \langle \varpi_1[X] \rangle dX = \frac{1}{nT_0} \sum_{i=1}^n \int_{t_i}^{t_{i+1}} m(t|x_i) dt;$$

$$\langle \sigma^2 \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} (X - m)^2 \langle \varpi_1[X] \rangle dX = \frac{1}{nT_0} \sum_{i=1}^n \int_{t_i}^{t_{i+1}} \langle [m(t|x_i) - m]^2 + \sigma^2(t|x_i) \rangle dt;$$

$$\begin{aligned} \langle R(t'' - t') \rangle &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \{(X' - m)(X'' - m) \times \\ &\times \langle \varpi_2[X', X''] \rangle dX' dX''\} = \langle R(\mu T_0 + \lambda) \rangle = \\ &= \frac{1}{(n - \mu - 1)T_0} \sum_{i=1}^{n-\mu-1} \left\{ \int_{t_i}^{t_{i+1-\lambda}} \langle [m(t'|x_i) - m] \times \right. \\ &\times [m(t''|x_{i+\mu}) - m] + R(t', t''|x_i, x_{i+\mu}) \rangle dt + \\ &+ \int_{t_{i+1-\lambda}}^{t_{i+1}} \langle [m(t'|x_i) - m][m(t''|x_{i+\mu+1}) - m] + \\ &\left. + R(t', t''|x_i, x_{i+\mu+1}) \rangle dt, \right. \end{aligned}$$

где $m(t|x_i)$ и $\sigma^2(t|x_i)$ — условные математическое ожидание и дисперсия сигнала на интервале $t_i \leq t \leq t_{i+1}$; $R(t', t'')$ — условная корреляционная функция сигнала на интервалах $t_i \leq t' \leq t_{i+1}$ и $t_{i+\mu} \leq t'' \leq t_{i+\mu+1}$; $\lambda = |t'' - t'| - \mu T_0$, $0 \leq \lambda \leq T_0$.

Характеристики сигналов и их погрешности. Оценки математического ожидания $\langle M \rangle$, дисперсии $\langle \sigma^2 \rangle$ и корреляционной функции $\langle R(\mu T_0 + \lambda) \rangle$, а также характеристики их погрешностей в рамках выбранной модели сигнала для случая $\mu \ll N$ равны

$$\begin{aligned} \langle m \rangle &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad m_{\delta m} = \langle m \rangle - m; \\ \sigma_{\delta m}^2 &= \frac{\sigma_\delta^2}{n}; \quad \langle \sigma^2 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 + \sigma_\delta^2; \\ M_{\delta \sigma}^2 &= \langle \sigma^2 \rangle - \sigma^2; \quad \langle \sigma_{\delta \sigma}^2 \rangle = \frac{4\sigma_\delta^2}{n} [\langle \sigma^2 \rangle + \frac{\sigma_\delta^2}{5}]; \\ \langle R(\mu T_0 + \lambda) \rangle &= \frac{T_0 - \lambda}{T_0} \langle R(\mu T_0) \rangle + \\ &+ \frac{\lambda}{T_0} \langle R((\mu + 1)T_0) \rangle; \\ m_{\delta R}(\mu T_0 + \lambda) &= \langle R(\mu T_0 + \lambda) \rangle - R(\mu T_0 + \lambda); \\ \sigma_{\delta R}^2(\mu T_0) &= \frac{2\sigma_\delta^2}{n - \mu} [\langle \sigma^2 \rangle + \langle R(2\mu T_0) \rangle + \frac{\sigma_\delta^2}{5}], \end{aligned}$$

где $\langle R(kT_0) \rangle = \frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^{n-k-1} (x_i - m)(x_{i+k} - m)$, $k = \mu, \mu + 1, 2\mu, \mu'' - \mu'$.

При комплексном подходе расширяется определение эргодических случайных процессов и получаются алгоритмы измерения плотностей распределения вероятностей с оценкой их погрешностей. из них можно получить алгоритмы измерения характеристических функций, статистические характеристики случайных процессов и выражения для вычисления их погрешностей.

2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

На базе рассмотренного ранее комплексного подхода к определению погрешностей статистических измерений была реализована интеллектуальная измерительная система (ИнИС).

В соответствии с принципами функционирования интеллектуальных ЭВМ и экспертных систем, схема работы ИнИС состоит из пяти этапов (рис. 1). На первом — ИнИС по каналу связи воспринимает данные измерений, а также информацию о характере измерительной задачи, об объектах и условиях измерений, требуемой точности измерений, предъявляемых требованиях и наложенных ограничениях. Вид и характер этой информации должен обеспечивать возможность идентификации измерительной ситуации, определяемой свойствами объекта измерений, условиями измерений, предъявляемыми требованиями и наложенными ограничениями, и установления множества алгоритмов обработки измерений, реализация которых возможна на основе входящих в ИнИС аппаратных и программных средств. Результатом этого этапа является создание базы данных (БД) измерений. На втором этапе осуществляется контроль наличия управляющих данных (числа отсчетов, шага дискретизации и интервала группирования) и определение их достоверности. В случае обнаружения недостоверных данных система оповещает пользователя о вводе недостоверных управляющих данных. На третьем этапе, в соответствии со схемой работы ИнИС, на основе имеющихся БД измерений и базы знаний (БЗ) алгоритмов обработки измерений выполняются идентификация ситуации и установление множества алгоритмов обработки измерений. Четвертый этап по схеме работы ИнИС заключается в выборе оптимального алгоритма обработки измерений из числа возможных с помощью БЗ алгоритмов обработки измерений. Поскольку правило выбора этого алгоритма неизбежно свя-

зано с установлением характеристик точности результатов измерений при использовании сравниваемых алгоритмов, измерительные знания должны включать в себя все сведения, необходимые для выполнения соответствующих процедур — расчетов, имитационного моделирования или их комбинаций. После выбора оптимального алгоритма обработки измерений выполняется заключительный этап работы ИнИС — проведение необходимых вычислений и получение научно обоснованных оценок точности и достоверности результатов измерений. В результате к потребителю выводятся полученные характеристики сигналов с оценкой их погрешностей в виде сравнительных таблиц (рис. 2) и графиков [5].

Общепризнанно, что наиболее корректным и адекватным с позиций современной теории измерений, является вероятностно-статистический подход к описанию как измеряемых величин, так и свойств самих систем измерений.

Для реализации описанной схемы работы ИнИС должна включать в свой состав следующие основные части, показанные на рис. 3. Исполнительную, реализующую выбранный оптимальный алгоритм обработки измерений. Базу данных измерений, содержащую отсчеты, полученные с датчиков по каналу связи, а также информацию о характере измерительной задачи, об объектах и условиях измерений, требуемой точности измерений, предъявляемых требованиях и наложенных ограничениях. Базу знаний, включающую в себя все возможные алгоритмы обработки измерений. интеллектуальный интерфейс, содержащий все необходимое программное обеспечение для получения исходной информации, общения с пользователем при необходимости, использования знаний, обеспечения необходимой точности измерений, управления исполнительной частью и выдачи результатов обработки измерений. Как правило, исполнительная часть, БД измерений, БЗ алгоритмов обработки измерений и интеллектуальный интерфейс объединяются общей интерфейсной шиной.

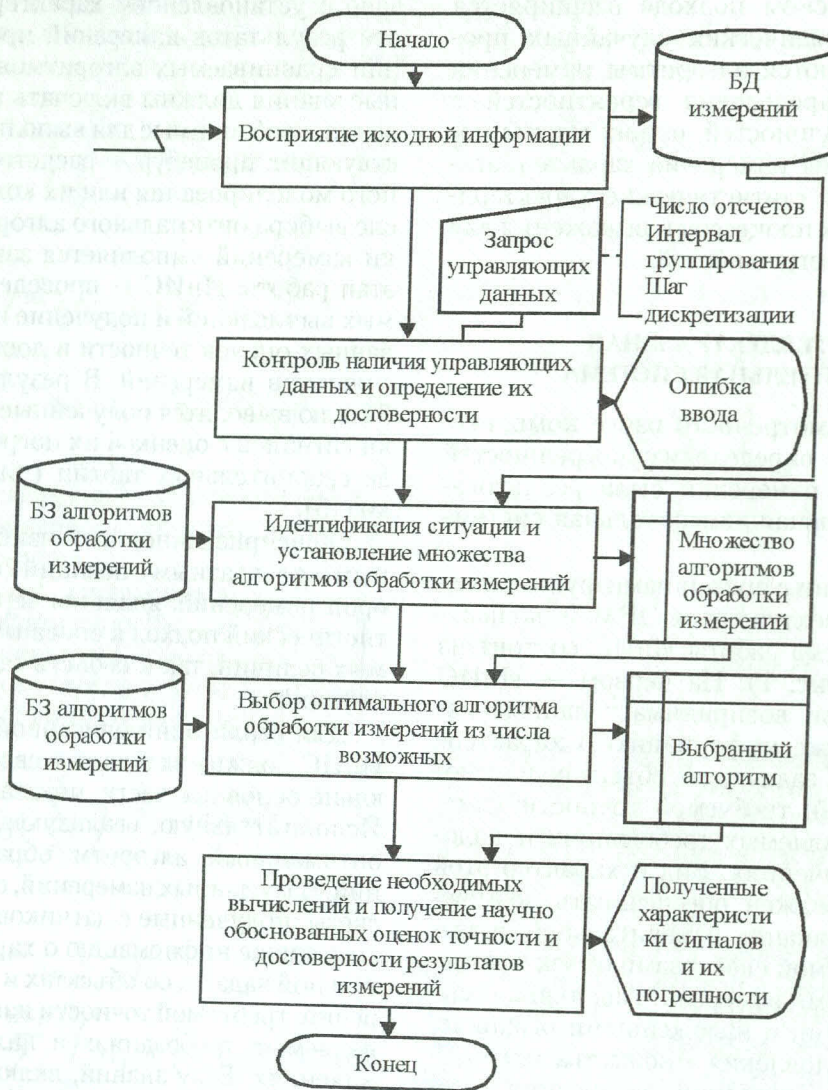


Рис. 1. Схема работы интеллектуальной измерительной системы

Результат		
	Метод	
	Классический	Комплексный
Математическое ожидание	2,7825	2,7825
Матем. ожидание погрешности	2,18435	2,18435
Дисперсия	31545,450362006	31510,4978286723
Матем. ожидание погрешности	5661,55149542838	2,18435
ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД:		Комплексный

Назад

Рис. 2. Таблица результатов вычислений

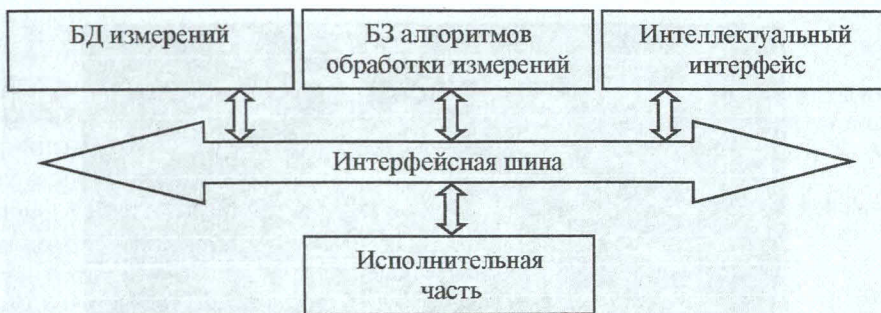


Рис. 3. Структура интеллектуальной измерительной системы

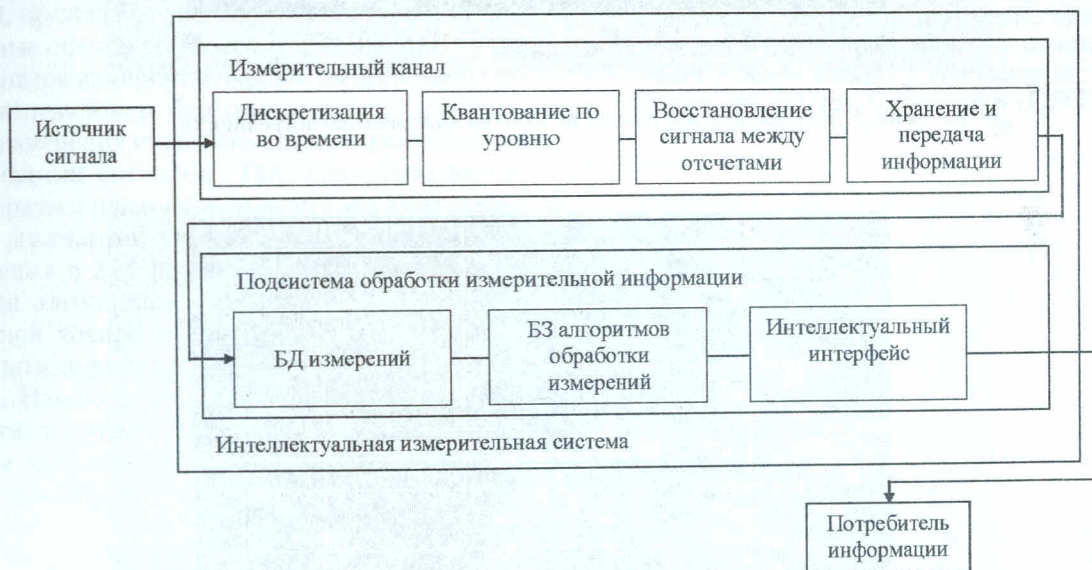


Рис. 4. Информационная модель интеллектуальной измерительной системы

Информационные процессы, протекающие в ИнИС, отражены в модели на рис. 4. Сигнал, несущий информацию о характере измерительной задачи, об объектах и условиях измерений, требуемой точности измерений, предъявляемых требованиях и наложенных ограничениях, после преобразований в удобную для обработки форму (дискретизации во времени, квантования по уровню, восстановления сигнала между отсчетами) запоминания и передачи в измерительном канале поступает в подсистему обработки измерительной информации (ПОИИ). Здесь, на основе имеющихся БД измерений и БЗ алгоритмов обработки измерений при непосредственном участии интеллектуального интерфейса осуществляется идентификация ситуации и выбор оптимального алгоритма обработки измерений, на основе которого проводятся необходимые вычисления, а затем полученные характеристики сигналов с оцен-

кой их погрешностей выдаются потребителю информации. Дискретизацию во времени и квантование по уровню измерительной информации для представления ее в цифровой форме выполняет АЦП. Задачи хранения измерительной информации решаются аналоговыми и цифровыми запоминающими устройствами. ПОИИ строится на основе микропроцессорных контроллеров, универсальных и специализированных ЭВМ.

Экранные формы результатов работы системы. Отдельно строятся характеристики математического ожидания (рис. 5), дисперсии (рис. 6) и корреляционной функции (рис. 7) с оценками их погрешностей: математического ожидания и дисперсии.

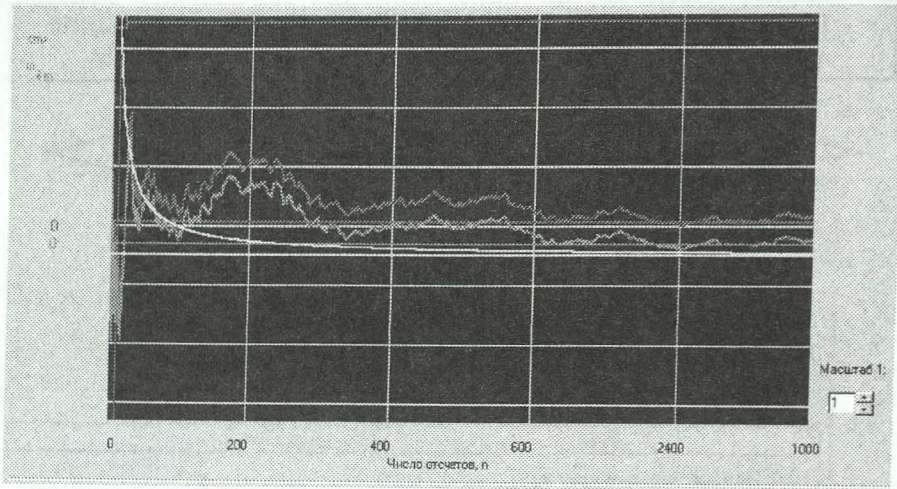


Рис. 5. Математическое ожидание и его характеристики погрешности

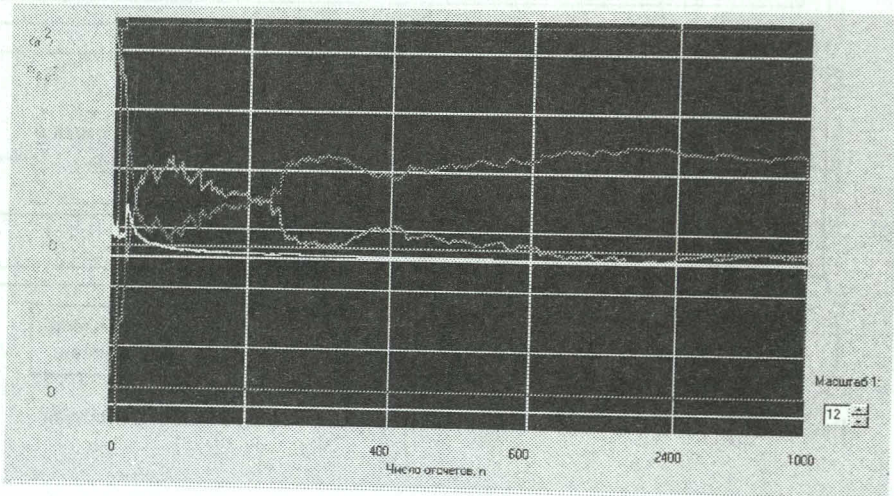


Рис. 6. Дисперсия и ее характеристики погрешности

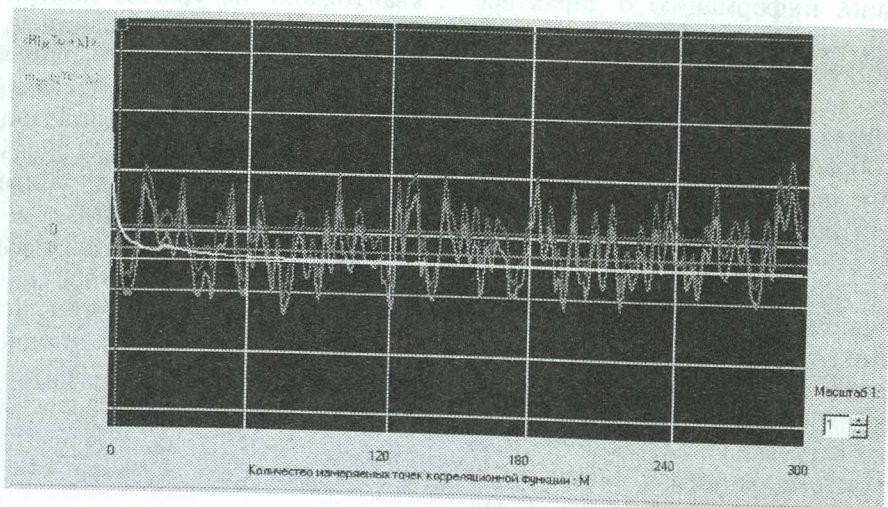


Рис. 7. Корреляционная функция и ее характеристики погрешности

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ИнИС позволяет выбрать наилучший алгоритм измерения вероятностных характеристик и сопровождается результатами измерений оценкой их погрешностей [6].

Это событие реализуется благодаря использованию комплексного подхода к определению погрешностей статистических измерений. Теоретический анализ и экспериментальная проверка этих результатов показали, что комплексный подход к определению погрешностей статистических измерений позволяет, прежде всего, получить научно обоснованные оценки точности и достоверности результатов измерений. Кроме того, он позволяет синтезировать быстрые и точные алгоритмы измерения статистических характеристик случайных сигналов. Так, синтезированные алгоритмы позволяют при той же длительности реализации уменьшить погрешность измерения в 2–4 раза по сравнению с известными алгоритмами. И, наоборот, при неизменной точности измерений во столько же раз можно уменьшить длительность реализации. Наконец, разрабатываемая теория точности позволяет получить эффективные методы уменьшения погрешностей, анализа и синтеза современных ИнИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов, В. Н. Интеллектуальные средства измерений / В. Н. Романов, В. С. Соболев, Э. И. Цветков; под ред. Э. И. Цветкова // М.: РИЦ «Татьянин день», 1994. 280 с.
2. Заико, А. И. Аналоговые измерения многомерных характеристик случайных процессов

/ А. И. Заико // Метрология. 1985. № 11. С. 3–6.

3. Zhitnikov, V. P. Determination of methodical and instrumental errors of statistical measurements / V. P. Zhitnikov, N. A. Zaiko // High Speed Hydrodynamics : Proc. of 2nd Int. Summer Scientific School. Cheboksary, Russia, 2004. P. 281–285.
4. Zaiko, A. Accuracy of statistic and spectral measurements / A. Zaiko, N. Zaiko // Metrology in the 3rd Millennium : Proc. of XVII IMEKO World Congress. TC8. Dubrovnik, Croatia, 2003 P. 1275–1279.
5. Zaiko, N. A. Intellectual measuring system for analysis of probability characteristics of random processes with complex approach to error definition / N. A. Zaiko // Workshop on Comp. Science and Inform. Technologies (CSIT'2005). Ufa, Russia, 2005. Vol. 2. P. 27–29.
6. Заико, Н. А. Интеллектуальная измерительная система для анализа случайных процессов с применением комплексного подхода к определению погрешностей / Н. А. Заико // Вузовская наука — России : матер. 2-й межвуз. науч.-практ. конф. Наб. Челны : КамПИ, 2005. Т. 1. С. 254–256.

ОБ АВТОРЕ



Заико Наталья Александровна, асп. каф. компьют. матем. Дипл. инж.-сист. (УГАТУ, 2004). Готовит дис. в обл. повыш. точности и уменьш. длительности измерений интел. систем обработки информации.