

УДК 681.518

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ ПРИ УСЛОВИИ АДАПТИВНОЙ
ФИЛЬТРАЦИИ АДДИТИВНЫХ ШУМОВ**

Павлович В. И.

*Одесская государственная академия технического регулирования и качества, 65020,
Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 15.*

pavidlovi4@gmail.com

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ВИМІРЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ПАРАМЕТРІВ РАДІОСИГНАЛІВ ЗА УМОВИ АДАПТИВНОЇ
ФІЛЬТРАЦІЇ АДДИТИВНИХ ШУМІВ**

Павлович В. І.

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості, 65020,
Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 15.*

pavidlovi4@gmail.com

**FORMALIZATION THE TASK OF MEASUREMENT
INFORMATION PARAMETERS OF RADIO SIGNALS IN CONDITIONS
OF ADDITIVE NOISE FILTRATION**

Pavlovich V.I

*Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, 65020,
Ukraine, g. Odessa, st. Kuznechnaya 15.*

pavidlovi4@gmail.com

Аннотация. Представлена операторная и алгоритмическая формы уравнения измерения информационных параметров радиосигнала при условии адаптивной фильтрации аддитивных шумов. Количественно оценены потери измерительной информации на входе средства измерения при наличии и отсутствии режима с адаптивной фильтрацией.

Ключевые слова: измерительная задача, информационный параметр, аддитивные шумы, операторна форма, уравнение измерения, линейный оператор, адаптивная фильтрация.

Анотація. Представлена операторна і алгоритмічна форми рівняння вимірювання інформаційних параметрів радіосигналу за умови адаптивної фільтрації адитивних шумів. Кількісно оцінено втрати вимірювальної інформаційні на вході засобів вимірювання за наявності і відсутності режиму з адаптивною фільтрацією.

Ключові слова: вимірювальна задача, інформаційний параметр, адитивні шуми, операторна форма, рівняння вимірювання, лінійний оператор, адаптивна фільтрація.

Abstract. The operator and algorithmic equation form of measurement radio signal information parameters on the condition of adaptive filtering additive noise are submitted. the loss of measurement information on measurement tools input with and without adaptive filtering mode is quantified.

Keywords: measurement task, the information parameter, additive noise, the operator form, measurement equation, linear operator, adaptive filtering.

Постановка проблемы и анализ последних достижений и публикаций. Измерение параметров радиосигналов в условиях аддитивных шумов, в общем случае, представляет процесс решения классической измерительной задачи, направленной на получение информации о физическом состоянии дистанционно-удаленных объектов неконтактными методами [1–3]. Измерительная задача считается поставленной точно и однозначно, если она представлена в виде формальной системы, которая может быть задана упорядоченным множеством (вектором) исходных данных, логическими и математическими выражениями, алгоритмами или правилами их построения. В контексте исследования рассматриваемого вопроса фор-

мальная система предусматривает модельное описание измерительных величин, их носителей - информационных параметров сигналов, условий измерения (совокупности внешних и внутренних факторов), показателей качества, критериев оценки, а также пространственно-временных границ и формы представления результата измерения.

Формализация измерительной задачи получила развитие в приложениях радиотехники, мониторинга, контроля, диагностирования и испытания технических средств. Это касается, прежде всего, теоретико-множественного аппарата описания измерительных процедур и алгоритмического обеспечения метрологического анализа и метрологического синтеза. Получены интересные результаты в направлении измерений с коррекцией, адаптивных и статистических измерений [4...7]. Однако аппарат формализации априорных знаний, связанных с условиями преодоления неопределенности относительно характеристик аддитивных шумов и некоторых неинформативных параметров радиотехнических сигналов, развит недостаточно. В ряде работ [5, 6] сформированы лишь базовые формализмы. Вместе с тем, специфика неконтактных измерений физического состояния дистанционно-удаленных объектов и характеристик среды их пребывания, сопровождающаяся неуклонным усложнением выполняемых измерительных процедур [1, 6, 7], требуют исчерпывающей формализации описания условий измерения соответствующих физических величин.

Указанные обстоятельства актуализируют проблему теоретического обобщения, исследования и расширения элементов формальной системы для однозначной постановки задачи и точного описания процедуры измерения информативных параметров радиосигналов в условиях аддитивных шумов. Применение языка формального описания создает предпосылки для получения измерений высокого качества, поскольку практически исключает проведение некорректных измерительных операций.

Цель работы: интерпретация процедуры измерения информационных параметров радиосигналов в условиях адаптивной фильтрации аддитивных шумов посредством расширения системы формального описания измерительной задачи.

Изложение основного материала исследований. Принятый в настоящем исследовании подход к интерпретации процедуры измерения информационных параметров радиосигналов в условиях аддитивных шумов исходит из рассмотрения результата измерения как случайной величины и опирается на систему аксиом, увязывающих результат измерения с истинными значениями измеряемой величины. При этом предполагается существование системы обеспечения единства измерений, позволяющей сопоставить результаты теоретического представления с данными, полученными экспериментальным путем.

Формализованное описание обозначенной процедуры вытекает из целевой функции рассматриваемой измерительной задачи и соответствия ее типовым операциям измерения. Интерпретация этого соответствия в виде проецирования многовекторного пространства измерительной задачи R^{\perp} на плоскость предметного пространства R (здесь область решения задачи измерения информационных параметров радиосигнала), приведена на рис. 1.

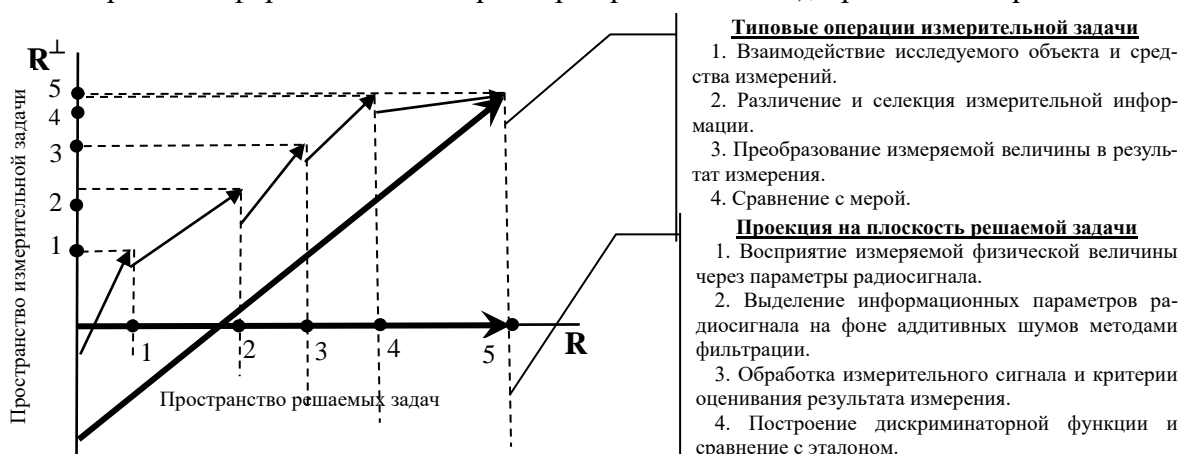


Рисунок 1 – Интерпретация измерительной задачи через предметную область объекта

В контексте предметной интерпретации решаемой измерительной задачи, зададимся общей вероятностной моделью исходных данных. В частности:

- взаимодействие средства измерений с дистанционно-удаленным объектом осуществляется посредством квазидетерминированного радиотехнического сигнала $S(t, \gamma)$, параметры $\gamma_i, i = \overline{1, \mu}$ которого трансформируются под влиянием характеристик объекта измерения и среды его пребывания. Являясь источником информации об измеряемой величине λ , вектор параметров радиосигналов $\mathbf{Y} = \|\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_\mu\|$, называемых в дальнейшем информационными параметрами, принимает значения из множества Γ . Вектор \mathbf{y} случаен, его плотность вероятности считается заданной на множестве Γ . Размерность вектора \mathbf{y} и физический смысл отдельных его компонентов при разных измерительных ситуациях могут быть различными;

- описание реальной ситуации измерения вектора информационных параметров \mathbf{y} предполагает присутствие аддитивных шумов произвольной интенсивности $N(t)$, которые, взаимодействуя с полезным сигналом $S(t, \gamma)$, образуют полное входное воздействие:

$$U(t) = S(t, \gamma) + N(t), \quad (1)$$

где $U(t)$ – случайный процесс, реализации которого доступны наблюдению на временном интервале $[0, T]$; $N(t)$ – реализация гауссовского случайного процесса с математическим ожиданием $M[N(t)] = 0$ и корреляционной функцией $M[N(t)N(\tau)] = R(t - \tau)$, здесь $M(*)$ – операция статистического усреднения.

- результат измерения представляется значением физической величины $\tilde{\lambda}_s$, которая функционально связана с входным воздействием соотношением, известным в метрологии как уравнение измерения [5, 6, 8]:

$$\tilde{\lambda}_s = \mathbf{L}[S(t, \mathbf{Y})], \quad (2)$$

где \mathbf{L} – оператор нелинейного преобразования некоторого информационного параметра из множества \mathbf{Y} в результат измерения $\tilde{\lambda}_s$. Представляя идеальные и реальные процедуры измерений, уравнение (2) включает в себя только физически реализуемые преобразования;

- основным показателем качества измерений служит точность результата измерений, отражающая близость к нулю погрешности E_s этого результата. Оценка погрешности результата измерения выполняется по критерию минимума среднего квадрата ошибки:

$$E_s = |\tilde{\lambda}_s - \lambda_0|^2 = \min, \quad (3)$$

где λ_0 – действительное значение измеряемой величины.

Схема процедуры преобразования входных воздействий $S(t, \mathbf{Y})$ в результат измерения, реализующая выражения (2) и (3), приведена на рис. 2.

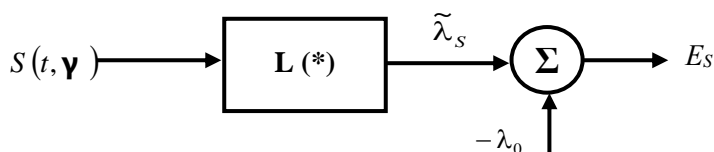


Рисунок 2 – Измерительная процедура в отсутствии аддитивных шумов

Применительно к модели исходных данных представим результат измерения, как преобразование аддитивной смеси входного воздействия $U(t)$, в операторной форме:

$$\tilde{\lambda}_{SN} = \mathbf{L}[U(t)] = \mathbf{L}[S(t, \mathbf{y}_N) + N(t)], \quad (4)$$

где \mathbf{y}_N – вектор информационных параметров радиосигнала, искажённых шумами.

Естественно, в условиях аддитивных шумов погрешность результата измерения равна:

$$E_{SN} = |\tilde{\lambda}_{SN} - \lambda_0|^2 \neq \min, \text{ причём } E_{SN} \gg E_S. \quad (5)$$

Анализ выражений (4) и (5) указывает на необходимость организации таких видов преобразования, которые сводят к минимуму влияние аддитивных шумов $N(t)$ на результат измерения $\tilde{\lambda}_{SN}$. Такими возможностями, например, обладает преобразование с фильтрацией, позволяющее приблизить реальный результат измерения к его эталону: $\tilde{\lambda}_{SN} \rightarrow \tilde{\lambda}_S$.

В общем случае оператор \mathbf{L} в (4) обладает свойством нелинейного преобразования, что не позволяет представить результат измерения $\tilde{\lambda}_{SN}$ в аддитивной форме, то есть

$$\mathbf{L}[S(t, \mathbf{y}_N) + N(t)] \neq \mathbf{L}[S(t, \mathbf{y}_N)] + \mathbf{L}[N(t)]. \quad (6)$$

Устранение неравенства (6) представляет как теоретический, так и практический интерес, поскольку в этом случае достигается замечательное соответствие между результатом преобразования вектора информационных параметров \mathbf{y}_N наблюдаемого сигнала и результатом преобразования процесса аддитивных шумов $N(t)$. Для такого соответствия нужны линейные преобразования [9, 10]. Следовательно, надо выполнить предварительное линейное преобразование входного воздействия, которое представляет смесь полезного сигнала и аддитивного шума:

$$\mathbf{F}[U(t)] = \mathbf{F}[S(t, \mathbf{y}_N) + N(t)] = \mathbf{F}[S(t, \mathbf{y}_N)] + \mathbf{F}[N(t)], \quad (7)$$

где $\mathbf{F}(\ast)$ – линейный оператор предварительного преобразования.

С учетом введенного линейного преобразования (7), представим уравнение (4), как результат измерения величины $\hat{\lambda}_{SN}^F$, следующим таким образом:

$$\tilde{\lambda}_{SN}^F = \mathbf{L}\{\mathbf{F}[S(t, \mathbf{y}_N) + N(t)]\}. \quad (8)$$

Известные свойства линейного преобразования [10], позволяют модифицировать форму представления уравнения измерений (8), записав в таком виде:

$$\tilde{\lambda}_{SN}^F = \mathbf{L}\{\mathbf{F}[S(t, \mathbf{y}_N)] + \mathbf{F}[N(t)]\}, \quad (9)$$

В модифицированной форме уравнения измерений (9) оператор преобразования $\mathbf{F}(\ast)$ должен обладать свойствами, которые способствуют достижению следующего результата:

– во-первых, свести к минимуму влияние аддитивных шумов $N(t)$ произвольной интенсивности на результат измерения величины $\tilde{\lambda}_{SN}^F$

$$\mathbf{F}[N(t)] \Rightarrow \min. \quad (10)$$

– во-вторых, минимизировать искажение вектора информационных параметров \mathbf{y}_N наблюдаемых радиосигналов, то есть отображать в себя множество полезных сигналов

$$\mathbf{F}[S(t, \mathbf{y}_N)] \Rightarrow S(t, \mathbf{y}). \quad (11)$$

– в-третьих, результатам измерений должен соответствовать физическим параметрам. Для этого норма линейного оператора $\|\mathbf{F}[S(t, \mathbf{y}_N)]\|$ должна быть ограничена по величине некоторым вещественным положительным числом ε , здесь, заданной точностью реали-

зации операторного преобразования

$$\| \mathbf{F} [S (t, \boldsymbol{\gamma}_N)] \| < \varepsilon . \quad (12)$$

При выполнении условия (12) измерительная задача относится к классу корректных задач.

Предложенный подход к формализации процесса преобразования аддитивной смеси полезного сигнала и шума позволяет представить результат измерения в такой расстановке

$$\tilde{\lambda}_{SN}^F = \mathbf{L} \{ \mathbf{F} [S (t, \boldsymbol{\gamma}_N)] + \mathbf{F} [N(t)] \} \Rightarrow \mathbf{L} [S (t, \boldsymbol{\gamma})] = \tilde{\lambda}_S . \quad (13)$$

В этом случае погрешность результата измерения равна:

$$E_{SN}^F = \left| \tilde{\lambda}_{SN}^F - \lambda_0 \right|^2 \Rightarrow E_S . \quad (14)$$

Из выражений (13) и (14) следует, что процедура измерений информативных параметров наблюдаемых или регистрируемых радиосигналов $S(t, \boldsymbol{\gamma}_N)$ в присутствии аддитивных шумов $N(t)$ содержит последовательности операций линейного и нелинейного преобразований аддитивной смеси входных воздействий $U(t)$. Обобщенная схема указанных преобразований и вычислительных операций представлено на рис. 3.

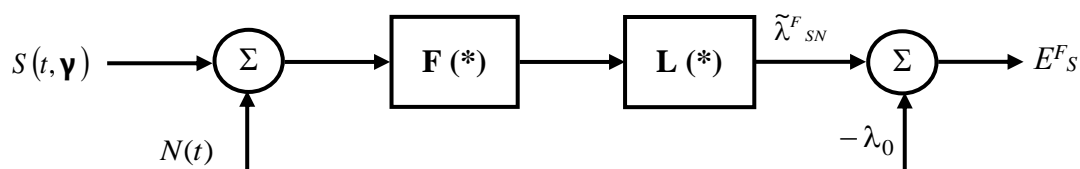


Рисунок 3 – Процедура измерения параметров на фоне аддитивных шумов

Вид операторного уравнения измерений (9) определяется значимостью и местом расположения преобразования $\mathbf{F} [U(t)]$. Если преобразование $\mathbf{F} [U(t)]$ гипотетически реализует операцию усреднения для измерения вероятностных характеристик случайных процессов, то оно относится к ряду главных (основных) измерительных преобразований. В ином случае такое преобразование является вспомогательным (предварительным) и фактически направлено на подавление (фильтрацию) аддитивных шумов с неизвестными статистическими свойствами [5-7]. Очевидно, при неограниченном времени измерения и бесконечном объеме выборки входных реализаций $U(t)$ операцией предварительного преобразования $\mathbf{F} [U(t)]$ можно было бы пренебречь. В таком случае, подобная ситуация выходит за рамки физических возможностей решаемой измерительной задачи.

Известный подход к преодолению упомянутых ограничений – использование в измерительной процедуре преобразований с адаптивной фильтрацией $\mathbf{F} [U(t)]$. Адаптация предполагает автоматическое согласование алгоритма измерения со свойствами входного воздействия с целью обеспечения максимального уровня измерительной информации на входе средства измерения. Для оценки информационных возможностей преобразования $\mathbf{F} [U(t)]$ необходимо перейти от операторного уравнения измерения (13) к алгоритмическому уравнению, представив возможные операции адаптивной фильтрации в виде свертки импульсной характеристики системы $W(t)$ и наблюдаемого процесса $U(t)$:

$$Y(t) = \mathbf{F} [U(t)] = W(t) * U(t) = \int_{-\infty}^{\infty} W(t - \tau) U(\tau) d\tau . \quad (15)$$

С целью определения системы преобразования представим импульсную характеристику $W(t)$ конечным временным рядом

$$W_{\Delta}(t) = \sum_{i=1}^m w(i \Delta t) \delta(t - i \Delta t) , \quad (16)$$

где Δt – интервал дискретизации; $\delta(t)$ - дельта-функция.

В этом случае интеграл (15) сводится к виду

$$Y_{\Delta}(t) = \sum_i^m w_i \int_{-\infty}^{\infty} \delta[(t - i\Delta t) - \tau] U(\tau) d\tau. \quad (17)$$

где $w_i = w(i\Delta t)$ – некоторые весовые коэффициенты.

С учетом фильтрующего свойства дельта-функции интеграл (17) можно аппроксимировать весовой суммой [10]:

$$Y_{\Delta}(t) = U_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m w_i U(t - i\Delta t) = \mathbf{W}^T \mathbf{U}, \quad (18)$$

где; T – символ транспонирования; $\mathbf{U}^T = [U(t) \ U(t - \Delta t) \dots \ U(t - m\Delta t)]$ – вектор-столбец процессов на входе системы преобразования; $\mathbf{W}^T = [w_1 \ w_2 \dots \ w_m]$ – параметрический вектор, весовых коэффициентов w_i , который удовлетворяет требуемому критерию оптимальности

$$|Y(t) - Y_{\Delta}(t)|^2 \Rightarrow \min. \quad (19)$$

Следуя логике выражения (18), преобразование $\mathbf{F}[U(t)]$ можно реализовать теоретически по схеме линейного весового суммирования, а практически – в виде адаптивного трансверсального фильтра [10]. В качестве обобщенной меры уровня измерительной информации на выходе адаптивного фильтра (на входе средств измерения) предлагается выбрать энтропийную метрику по Шеннону, модифицированную к условиям решения конкретной измерительной задачи [11, 12]:

$$I(S_{\Sigma}, U_{\Sigma}) = H(U_{\Sigma}) - H(U_{\Sigma}/S_{\Sigma}), \quad (20)$$

где $S_{\Sigma} = \mathbf{F}[S(t, \mathbf{Y})] = \mathbf{W}^T \mathbf{S}$ – проекция преобразования $\mathbf{F}[U(t)]$ на плоскость полезных радиосигналов \mathbf{S} ; $H(U_{\Sigma})$ – потенциальная энтропия процесса на входе средства измерения; $H(U_{\Sigma}/S_{\Sigma})$ – условная (апостериорная) энтропия процесса на входе средства измерения при наличии полезного сигнала $S(t, \mathbf{Y})$.

В общем случае, система измерений с адаптивной фильтрацией аддитивного шума предполагает такое преобразование вектора наблюдений $\mathbf{F}[U(t)]$, при котором достигается экстремум требуемого критерия оптимальности $J\{\mathbf{F}[U(t)]\}$. Детализация процедуры преобразования $\mathbf{F}[U(t)]$ и описание правила вычисления среднего количества информации $I(S_{\Sigma}, U_{\Sigma})$ представляет самостоятельную задачу. Решение ее выходит за пределы данной работы и подробно изложено в [11]. Используя результаты этой работы, можно определить теоретический предел оценки информационных возможностей предварительного преобразования с адаптивной фильтрацией $\mathbf{F}[U(t)]$, когда шум с фиксированным значением средней мощности обладает наибольшей энтропией. Последнее адекватно максимальным потерям измерительной информации на входе средства измерения при наличии m -мерного адаптивного фильтра:

$$I(S_{\Sigma}, U_{\Sigma}) = 0,51 \lg \left\{ 1 + q_s(\mathbf{W}) [1 + q_j(\mathbf{W})]^{-1} \right\} \quad (21)$$

и при отсутствии режима адаптации, когда m -мерный параметрический вектор имеет единичное значение $\mathbf{W} = \mathbf{I}(m, 1)$:

$$I(S_{\Sigma}, U_{\Sigma}) = 0,5 \lg \left(1 + m \frac{q_s}{1 + q_j} \right), \quad (22)$$

где $q_s(\mathbf{W})$ и $q_j(\mathbf{W})$ – параметры, определяющие, соответственно, превышение сигнала и внешних аддитивных шумов (помех) над внутренними шумами на входе средства измерения, соответственно; m – размерность адаптивного фильтра.

На рис. 4 приведены семейства кривых, построенные по выражениям (21) и (22). Они иллюстрируют изменение количества информации на входе средства измерения в зависимости от отношения помеха/шум q_j , при фиксированных значениях параметра $q_s = 10$ дБ и размерности адаптивного фильтра $m = 3; 4; 10$. Обозначенные штриховыми линиями $I(S_{\Sigma}, U_{\Sigma}) = \varphi(q_j)$ кривые отображают динамику информационных потерь в отсутствие адаптивной фильтрации, а сплошными линиями $I(S_{\Sigma}, U_{\Sigma}) = \psi(q_j)$ – информационные потери при наличии адаптивной фильтрации.

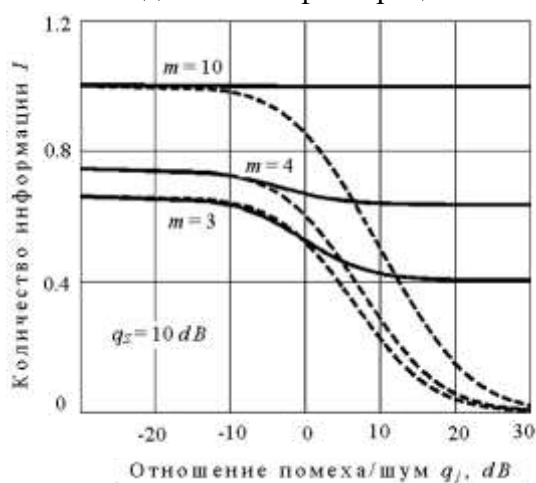


Рисунок 4 – Графики потерь измерительной информации в условиях аддитивных шумов

Результаты энтропийной оценки по семействам кривых (рис. 4) показывают, что выполнение предварительной адаптивной фильтрации позволяет существенно уменьшить информационные потери, вызванные воздействием внешних факторов шумовой природы. Причем, уровень этих потерь можно свести к минимуму, увеличивая размерность адаптивного фильтра. Следует отметить, реализация потенциальных возможностей адаптивной фильтрации внешних аддитивных шумов гарантируется присутствием исключительно внутреннего шума информационно-измерительной системы.

Выводы. Принятый в настоящей работе операторный и алгоритмический подходы к формализации процедуры измерения информационных параметров радиосигналов в условиях аддитивных шумов исходят из рассмотрения результата измерений

как случайной величины, и опирается на последовательность преобразований, увязывающих результат измерения с действительным значением измеряемой величины. При этом полагается, что независимо от физического приложения, представленная аппроксимация оператора преобразования $\mathbf{F}[U(t)]$ весовой формой, должен удовлетворять следующим свойствам:

- трансформировать полезный сигнал на вход средства измерения без каких-либо искажений $\mathbf{W}^T \mathbf{S} = S_{\Sigma}$;
- минимизировать влияние аддитивных шумов на входе измерителя $\mathbf{W}^T \mathbf{N} = \min$;
- быть физически реализуемой в пределах заданной точности аппроксимации операторного преобразования $\|\mathbf{W}\|^2 < \varepsilon$, где $\varepsilon < \infty$.

Процессу непосредственных измерений должно предшествовать преобразование с адаптивной фильтрацией смеси наблюдаемой реализации, обеспечивающее согласование измерительной процедуры с особенностями ее выполнения, подавление аддитивных шумов произвольной интенсивности, при минимальном искажении информационных параметров наблюдаемых сигналов, а также «очистку» измерительного радиосигнала от шумов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царев В. А., Коровин В. П. Неконтактные методы измерения в океанологии. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005. – 184 с.
2. Вельтищев Н.Ф., Семенченко Б.А. Дистанционные методы измерения в гидрометеорологии. Учебное пособие. - М.: изд. Московский университет, 2005. – 129 с.
3. Жиганов И.Ю. Метрологические основы дистанционных методов измерения геометрических параметров объектов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. - 2009. – т. 12, № 4. – С. 83-87.
4. Метрология и радиоизмерения: Учебник для вузов / А.С. Сигов, В.К. Битюков и др. / Под ред. В.И. Нефедова. – 2-е изд. перераб. – М.: Высш. шк., 2006. – 526 с.
5. Цветков Э.И. Основы математической метрологии. - СПб.: Политехника, 2005. – 510 с.
6. Цветков Э. И. Измерения с адаптивной фильтрацией аддитивной помехи // Вестник СЗО МА – 2004; вып. 12. – С. 4–16.
7. Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И.. Потенциальная точность измерений: Научное издание - Учебное. пособие / Под ред. Слаева В.А. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005 – 104 с.
8. Коробейников С.А. Параметрическая оптимизация решающего правила при адаптивных измерениях // Вестник СЗО МА – 2002; вып. 9 – С. 67–72.
9. Скачков В.В. Проблема повышения качества измерения информативных параметров радиосигналов в условиях аддитивных шумов / В.В. Скачков, В.И. Павлович // Метрологія технічне регулювання та забезпечення якості: матеріали П'ятої Міжнародної наук.-практ. конф., 08–09 жовтня 2015 р. – Одеса: ОДАТРЯ, 2015. – С. 96–99.
10. Френкс Л. Теория сигналов. / Пер. с англ., под ред. Д.Е. Вакмана. – М: Сов. радио, 1974. – 344 с.
11. Скачков В.В. Энтропийный подход к исследованию информационных возможностей адаптивной радиотехнической системы при внутрисистемной неопределенности / В.В. Скачков, В.В. Чепкий, Г.Д. Братченко, А.Н. Ефимчиков // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2015. – т. 58, № 6. – С. 3-12.
12. Скачков В. В. Оценка влияния внутрисистемных возмущений на точность измерения пространственных частот методом максимальной энтропии / В.В. Скачков, В.В. Чепкий, А.Н. Ефимчиков, В.И. Павлович, // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Харьков. ХУПС, 2015. – вып. 6 (131). – С. 131-134.

REFERENCES

1. Tsarev V. A., Korovin V. P. Nekontaktnyie metody izmereniya v okeanologii. Uchebnoe posobie. – SPb.: izd. RGGMU, 2005. – 184 s.
2. Veltischev N.F., Semenchenko B.A. Distantcionnyie metody izmereniya v gidrometeorologii. Uchebnoe posobie. - M.: izd. Moskovskiy universitet, 2005. – 129 s.
3. Zhiganov I.Yu. Metrologicheskie osnovy distantsionnyih metodov izmereniya geometricheskikh parametrov ob'ektov // Fizika volnovyih protsessov i radiotekhnicheskie sistemyi. – 2009. – t. 12, # 4. – S. 83–87.
4. Metrologiya i radioizmereniya: Uchebnik dlya vuzov / A.S. Sigov, V.K. Bityukov i dr. / Pod red. V.I. Nefedova. – 2-e izd. pererab. – M.: Vyssh. shk., 2006. – 526 s.
5. Tsvetkov E.I. Osnovy matematicheskoy metrologii. – SPb.: Politehnika, 2005. – 510 s.
6. Tsvetkov E. I. Izmereniya s adaptivnoy filtratsiey additivnoy pomехi // Vestnik SZO MA – 2004; vyip. 12. – S. 4–16.
7. Balalaev V.A., Slaev V.A., Sinyakov A.I.. Potentsialnaya tochnost izmereniy: Nauchnoe iz-danie – Uchebnoe. posobie / Pod red. Slaeva V.A. – SPb.: ANO NPO «Professional», 2005 – 104 s.
8. Korobeynikov S.A. Parametricheskaya optimizatsiya reshayuscheho pravila pri adaptivnyih izmereniyah // Vestnik SZO MA – 2002; vyip. 9 – S. 67–72.
9. Skachkov V.V. Problema povysheniya kachestva izmereniya informativnyih parametrov radio-signalov v usloviyah additivnyih шумov / V.V. Skachkov, V.I. Pavlovich // Metrologiya tehnlchne regulyvannya ta zabezpechennya yakosti: materlali P'yatoYi MlzhnarodnoYi nauk.-prakt. конф., 08–09 zhovtnya 2015 r. – Odesa: ODATRYa, 2015. – S. 96–99.
10. Frenks L. Teoriya signalov. / Per. s angl., pod red. D.E. Vakmana. – M: Sov. radio, 1974. – 344 s.
11. Skachkov V.V. Entropiyinyiy podhod k issledovaniyu informatsionnyih vozmozhnostey adaptivnoy radiotekhnicheskoy sistemyi pri vnutrisistemnoy neopredelennosti / V.V. Skachkov, V.V. Chepkii, G.D. Bratchenko, A.N. Efimchikov // Izvestiya vuzov. Radioelektronika. – 2015. – t. 58, # 6. – S. 3-12.
12. Skachkov V. V. Otsenka vliyaniya vnutrisistemnyih vozmuscheniy na tochnost izmereniya prostranstvennyih chastot metodom maksimalnoy entropii / V.V. Skachkov, V.V. Chepkii, A.N. Efimchikov, V.I. Pavlovich, // Sistemi obrabotki informatsii: sbornik nauchnyih prudov. – Harkov. HUPS, 2015. – vyip. 6 (131). – S. 131-134.