



СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Информационная интеграция гидрофизических и гидроакустических полей.....	4
<i>Левин И.М., Долин Л.С., Франгузов О.Н., Родионов М.А., Осадчий В.Ю., Савченко В.В.</i> Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме лидарного зондирования.....	16
<i>Зимин А.В., Николаев В.Г., Родионов А.А.</i> Внутренние волны и их проявления на морской поверхности во время приливного цикла в Белом море.....	25
Итоги Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).....	30
<i>Каган Б.А., Софьина Е.В.</i> Сезонная изменчивость приливной волны M_2 в Северном Ледовитом океане.....	31
<i>Силина Т.А.</i> Алгоритмы комплексирования информации в системе подводного наблюдения, построенной по сетцентрическому принципу.....	38
<i>Семенов Н.Н.</i> Определение курсового угла подводного объекта по одному наблюдению при использовании сложного сигнала и когерентного приема.....	46
<i>Жиляев Е.А., Павлов А.А., Чернядев Е.В.</i> Автономная дистанционно управляемая сейсмогидроакустическая станция наблюдения за сигнально-помеховой обстановкой.....	51
Перспективные направления развития науки и техники	
<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в Мировом океане.....	59
Хроника.....	66
Внимание, конкурс!.....	69
Информация о конференции ГА-2010.....	71
Правила представления материалов в редакцию.....	72

CONTENTS

Articles

- Kljachkin V.I.* Information Integration of Hydrophysical and Hydroacoustic Fields..... 4

In the present work the dynamic and information model of hydroacoustic and hydrophysical algorithmic systems interaction is considered with the view of designing of optimized (adaptive) procedures for weak signal allocation in the presence of masking interference, and also for estimation of unknown parameters of HA and HP field sources movement. Physical basis of these problems solving is the difference in field generation and propagation mechanism under their information interaction.

Key words: random fields, dynamics, information, adaptation, estimation, signal, noise.

- Levin I.M., Dolin L.S., Frantuzov O.N., Rodionov M.A., Osadchy V.Yu., Savtchenko V.V.*
Measurement of Depth Profiles of Optical and Hydrophysical Parametres
in the Barents Sea: Application to Lidar Sensing Problem..... 16

Lidar detection of hydrophysical nonhomogeneity, such as internal waves or turbulence, is possible if there is marked stratification of the depth profiles of attenuation coefficient and the fluid density, and if the lidar echo-signal from pycnocline area is sufficiently large. A new submersible instrument for attenuation coefficient measuring was developed and produced. In this paper we describe the instrument and the algorithm of its calibration and measurement accuracy estimation. The results of field measurements of attenuation coefficient, density and temperature depth profiles in 12 spots (stations) in the Barents Sea are given. Using the results of these measurements, we computed the echo-signal levels and the signal-noise ratio as functions of depth. It was shown that at all stations the echo-signal power is sufficient enough for hydrophysical nonhomogeneity detection.

Key words: lidar sensing, attenuation coefficient, hydrophysical parametres, the Barents Sea.

- Zimin A.V., Nikolaev V.G., Rodionov A.A.* Internal Waves and their Displays on the Sea
Surface During the Tidal Cycle in the White Sea..... 25

The results of an experiment on research of the internal waves, carried out in July, 2008 in the Onega gulf of the White Sea, are presented. Behavior of time variability of short -time period internal waves during a tidal cycle is investigated. It is shown that fluctuations of a thermocline and temperature of an ocean surface are correlated and in-phased.

Key words: internal waves, measurement, sea surface temperature, contact and non-contact methods.

- Kagan B.A., Sofina E.V.* Seasonal Variability of the M_2 Tide in the Arctic Ocean 31

The results for three-dimensional (3D) winter and summer tidal flows in the Arctic Ocean are presented. It is shown that dependent on ice seasonal variability of the tidal constants (amplitudes and phases of tidal sea surface level elevations) in the Central and Canadian parts of the Arctic Ocean is less than the mean square error in the predicted tidal sea surface level elevations. This means that the seasonal variability can be neglected, at least as a first approximation. A different situation is encountered in the Siberian continental shelf, where seasonal changes of tidal amplitude are ± 5 cm, while those of tidal phase vary from 15° to several tens of degrees.

Key words: tides, seasonal variability, modeling, the Arctic Ocean.

<i>Silina T.A.</i> Data Fusion Algorithms of Underwater Network-Centric Surveillance System.....	38
--	----

The construction, assignment, functions and algorithmic structure of data fusion of underwater network-centric surveillance system are considered.

Key words: data fusion, network-centric system, underwater surveillance system.

<i>Semenov N.N.</i> Course Angle Estimation of a Underwater Object by Only One Observation Using a Complex Signal and Coherent Reception.....	46
---	----

Using of a complicated probing signal and coherent reception allows to distinguish echo-signals from various blinking points on the case of underwater object that allows to estimate such secondary signs, as the form of object and its linear sizes. Measurement of frequency of each echo-signal allows to estimate radial speed of mutual moving, and the knowledge of the form of an object allows to estimate a course angle and full speed of observable object.

Key words: hydroacoustic, detection, glare, compound signal, form evaluation, a cluster.

<i>Zhilyaev E.A., Pavlov A.A., Chernyadev E.V.</i> Self-Contained Remote Controlled Seismohydroacoustic Station for Surveillance of the Signal-Noise Situation	51
--	----

The report considers a signal-noise situation surveillance station meeting the modern requirements: it has an adaptive teletype hidden communication path through hydroacoustic channel, nonvolatile memory of big capacity, long endurance (up to 1 year), deployment depth of down to 6000m, GPS receiver for determining its location, it uses rapid signal digital processing algorithms.

Key words: seismohydroacoustic station, hydroacoustic communication, memory, digital algorithms

Perspective Tendency of Development of Science and Technics

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Place and Role of Mobile Underwater Robots in the Decision of Modern Problems of Sea Activity of the States.....	59
--	----

In the article the review of the basic modern global problems connected with sea activity of the states in the World Ocean, a place and a role in their decision of a new perspective class of underwater systems – mobile underwater robots (or UUVs) is given. Globalization forming uniform universal economic-information field, bears both constructive, and destructive influence on many aspects of the world community life, including research, economic and military problems solved in the World Ocean. The spectrum of the basic problems and prospects of UUVs, as dual-purpose means, in their decision is considered.

Key words: mobile underwater robot, underwater systems, an information field, underwater conditions.

УДК 534213

В.И.Клячкин¹
klyaka@mail.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Рассмотрены динамическая и информационная модели взаимодействия гидроакустических и гидрофизических алгоритмических систем с целью построения оптимизированных (адаптивных) процедур для выделения слабых сигналов на фоне маскирующих помех, а также для оценивания неизвестных параметров движения источников гидроакустических и гидрофизических полей. Физической базой решения этих задач является различие механизмов генерации и распространения полей при их информационном взаимодействии.

Построение алгоритма интеграции гидроакустических и гидрофизических систем (ГАС и ГФС) естественно проводить исходя из эволюционной (динамической) схемы с последующим переходом к вероятностным структурам при анализе гидроакустических (ГА) и гидрофизических (ГФ) алгоритмов (первоначально по отдельности). В итоге на базе динамики взаимодействия получаем вероятностное описание межсистемного алгоритма с оценкой его показателей эффективности. Очевидно, конечным итогом становится синтез оптимальных алгоритмов интеграции этих систем.

Динамическая структура интеграции систем. Информационное взаимодействие нескольких динамических систем описывается функциональной связью [1], которая отображает трансформацию вероятностных мер как выходных характеристик ГА и ГФ каналов распространения, взаимодействующих друг с другом в общем случае некоторым заданным образом, определяемым конечной целью задачи и ее физическим содержанием. Если рассматривать какую-либо конкретную физическую ситуацию, в том числе ГАС и ГФС, то возникают дополнительные параметрические характеристики межсистемных информационных связей, которые должны быть установлены на базе анализа конечной цели данной задачи; при этом может возникнуть вопрос об оптимизации алгоритма по выбранному критерию качества.

Динамика ГА и ГФ систем и их информационная связь представлена на рис. 1.

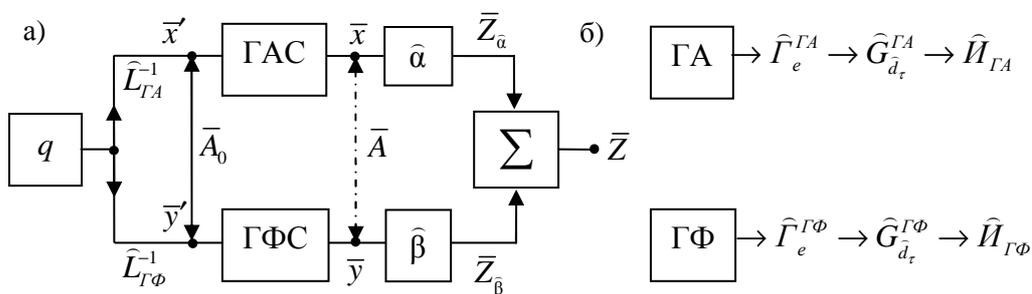


Рис. 1. Блок-структура интеграции:
а) – функциональная схема каналов; б) – алгоритмы ГАС и ГФС

¹ ОАО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

На рис. 1 введены операторы ГА, ГФ каналов распространения и операторы информационной интеграции ГА, ГФ наблюдений на базе r , $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ использования алгоритмов оценки параметров ГА, ГФ каналов и алгоритмов совместной обработки.

Отношение правдоподобия в задаче интеграции ГА и ГФ систем. Совместная причинно-следственная динамика на (\bar{r}, t) -пространстве, отвечающая задаче анализа индикаторных процессов описывается уравнениями:

$$\hat{L}_{ГА}\bar{x} = -\bar{q}, \quad \hat{L}_{ГФ}\bar{y} = -\bar{q}, \quad (1)$$

где $\hat{L}_{ГА,ГФ}$ - линейные операторы распространения в среде и системных ГА, ГФ алгоритмов.

Решения этих уравнений, очевидно, связаны общим источником \bar{q} , генерирующим оба типа полей, которым отвечают два различных по физическим свойствам статистически неоднородных канала распространения в среде, и, соответственно, требуют двух различных алгоритмов регистрации этих полей (и их пространственно-временной обработки).

Учитывая, что оба поля описываются смесью сигнальных и помеховых (фоновых) компонент, используем вероятностные методы анализа задачи, которая ориентированна в конечном счете на построение решений, обеспечивающих общий рост эффективности интегрированных ГАС и ГФС – то есть имеем для ГА, ГФ полей аддитивную модель в терминах:

$$\bar{x} = \bar{x}_S + \bar{x}_N; \quad \bar{y} = \bar{y}_S + \bar{y}_N. \quad (2)$$

Имеем очевидную связь

$$W_{\bar{x},\bar{y}}(\bar{\xi}, \bar{\eta}) = W_{\bar{x}|\bar{y}}(\bar{\xi}|\bar{\eta})W_{\bar{y}}(\bar{\eta}), \quad (3)$$

где $W_{\bar{x},\bar{y}}(\bar{\xi}, \bar{\eta})$ - функционал совместной плотности вероятности (ФПВ);

$W_{\bar{x}|\bar{y}}(\bar{\xi}|\bar{\eta})$ - функционал условной плотности вероятности (ФУПВ).

Тогда:

$$W_{\bar{A}}(\bar{Z}_0) \triangleq W_{\bar{A}}(\bar{\xi}, \bar{\eta}) = W_{\bar{x}|\bar{y}}(\bar{\xi}|\bar{\eta})W_{\bar{y}}(\bar{\eta}); \quad \bar{Z}_0 \triangleq [\bar{\xi}, \bar{\eta}]^T. \quad (4)$$

В терминах операторов Грина имеем:

$$\bar{x} = +\hat{G}_{ГА}\bar{q}; \quad \bar{y} = +\hat{G}_{ГФ}\bar{q}; \quad \hat{L}_{ГА} = \hat{L}_{ГА}^T; \quad \hat{L}_{ГФ} = \hat{L}_{ГФ}^T. \quad (5)$$

Здесь T - символ транспонирования.

Операторы в (1) и (5), могут быть представлены как самосопряженные, что достигается обращением оси времени ($t \rightarrow -t$), $t \in 0, \infty$; $t=0$ есть момент начала алгоритмического наблюдения – порог! Ясно, что (5) отображает технологии, использованные в [2].

Получим формально взаимные связи векторов ГА, ГФ полей:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= -\bar{G}_{ГА}\hat{L}_{ГФ}\bar{y} \\ \bar{y} &= -\bar{G}_{ГФ}\hat{L}_{ГА}\bar{x} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Отсюда приходим (упрощая обозначения $\hat{\wedge} \triangleq \wedge$) к взаимной и соответственно линейной связи наблюдений \bar{x} и \bar{y} (ГА, ГФ каналы взаимодействуют!). Имеем:

$$\left. \begin{aligned} \hat{Z}_{ГА,ГФ} &= \hat{G}_{ГА}\hat{L}_{ГФ} \rightarrow \bar{x} = -\hat{Z}_{ГА,ГФ}\bar{y} \\ \hat{Z}_{ГФ}^T &= \hat{G}_{ГФ}\hat{L}_{ГА} \rightarrow \bar{y} = -\hat{Z}_{ГФ,ГА}\bar{x} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Из (4), полагая, что $\bar{\xi}, \bar{\eta}$ - реализации \bar{x}, \bar{y} , для ФУПВ имеем:

$$W_{\bar{x}|\bar{y}}(\bar{\xi}|\bar{\eta}) = D[\bar{\xi} + \hat{Z}_{\Gamma A, \Gamma \Phi} \bar{\eta}], \quad (8)$$

где $D\{\bullet\}$ - есть, как обычно, дельта-функционал функциональной (дисперсионной) ГА, ГФ связи. Тогда из (3) и (7) получаем с учетом (8) обычное представление:

$$W_{\bar{x}}(\bar{\xi}) = \int_{D_{\bar{\eta}}} W_{\bar{x}, \bar{\eta}}(\bar{\xi}, \bar{\eta}) d\bar{\eta} = \int_{D_{\bar{\eta}}} D(\bar{\xi} + \hat{Z}_{\Gamma A, \Gamma \Phi} \bar{\eta}) W_{\bar{y}}(\bar{\eta}) d\bar{\eta}. \quad (9)$$

Или из (3) с учетом совпадения интервалов синхронного наблюдения ГАС и ГФС в процессе движения носителя получим:

$$W_{\bar{x}, \bar{y}}(\bar{\xi}, \bar{\eta}) \triangleq W_{\bar{y}, \bar{x}}(\bar{\eta}, \bar{\xi}) = W_{\bar{x}|\bar{y}}(\bar{\eta}|\bar{\xi}) W_{\bar{x}}(\bar{\xi}) = D[\bar{\eta} + \hat{Z}_{\Gamma \Phi, \Gamma A}^T] W_{\bar{x}}(\bar{\xi}). \quad (10)$$

Откуда следует:

$$W_{\bar{y}}(\bar{\eta}) = \int_{D_{\bar{\xi}}} D[\bar{\eta} + \tilde{Z}_{\Gamma A, \Gamma \Phi} \bar{\xi}] W_{\bar{x}}\{\bar{\xi}\} d\bar{\xi}.$$

Удобно (9) и (10) выразить в терминах ХФ $\theta_{\bar{x}}, \theta_{\bar{y}}$, что технически приводит к заметному упрощению структуры алгоритмов совместной работы ГАС и ГФС. Как обычно, вводя характеристический функционал (ХФ) $[(\bullet, \bullet)]$ - скалярное произведение наблюдений на выходе ГА, ГФ систем], получаем:

$$\theta_{\bar{x}}\{\bar{\alpha}\} = \left\langle e^{i(\bar{\alpha}^T, \bar{\xi})} \right\rangle_{W_{\bar{x}}} = \left\langle \int_{D_{\bar{\eta}}} e^{i(\bar{\alpha}^T, \bar{\xi})} D(\bar{\xi} + \hat{Z}_{\Gamma A, \Gamma \Phi} \bar{\eta}) W_{\bar{y}}(\bar{\eta}) d\bar{\eta} \right\rangle_{W_{\bar{x}}} = \theta_{\bar{y}}\left\{-\tilde{Z}_{\Gamma \Phi, \Gamma A} \bar{\alpha}^T\right\}.$$

Взаимная связь ХФ $\theta_{\bar{x}}$ и $\theta_{\bar{y}}$ имеет вид:

$$\begin{aligned} \theta_{\bar{x}}\{\bar{\alpha}\} &= \theta_{\bar{y}}\left\{-\tilde{Z}_{\Gamma \Phi, \Gamma A} \bar{\alpha}^T\right\} \\ \theta_{\bar{y}}\{\bar{\beta}\} &= \theta_{\bar{x}}\left\{-\tilde{Z}_{\Gamma \Phi, \Gamma A} \bar{\beta}^T\right\} \end{aligned}.$$

Интеграция ГА и ГФ информационных систем. Для двух наблюдений \bar{x} и \bar{y} , а также в интересах расширения объема наблюдаемой общей информации выберем наиболее простую модель, которая имеет вид линейного аддитивного объединения выходных эффектов ГАС, ГФС:

$$\bar{Z} = \hat{\alpha}\bar{x} + \hat{\beta}\bar{y}, \quad (11)$$

где $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ - некоторые весовые пока неизвестные операторы.

Теоретически модель (11) при обычной ее трактовке может привести через целевое управление операторами $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$ к явлению взаимной положительной информационной интерференции векторов \bar{x} и \bar{y} - в зависимости от степени их вероятностной связанности, т.е. $M \bar{x}^T \bar{y} \neq 0$, где M - математическое ожидание или (в рамках эргодических процессов) среднее по времени наблюдения показателей корреляции полей (\bar{x}^T, \bar{y}) .

Представим в виде (11) вектора \bar{Z} как выход весового сумматора (см.рис. 1). При этом осуществим весовое суммирование, введя некоторые $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ операторы:

$$\bar{Z} = \bar{Z}_{\hat{\alpha}} + \bar{Z}_{\hat{\beta}}; \quad \bar{Z}_{\hat{\alpha}} = \hat{\alpha}\bar{x}; \quad \bar{Z}_{\hat{\beta}} = \hat{\beta}\bar{y}. \quad (12)$$

Ясно, что (12) есть форма интеграции этих векторов интерференционного типа.

Вводим далее совместную плотность вероятности $W\{\bar{z}, \bar{x}, \bar{y}\}$.

$$W\{\bar{z}, \bar{x}, \bar{y}\} \triangleq W_{\bar{z}, \bar{x}, \bar{y}}(\bar{\zeta}, \bar{\xi}, \bar{\eta}).$$

Соответственно:

$$W\{\bar{z}, \bar{x}, \bar{y}\} = W_{\bar{z}|\bar{x}, \bar{y}}(\bar{\zeta}|\bar{\xi}, \bar{\eta}) W_{\bar{x}, \bar{y}}(\bar{\xi}, \bar{\eta}).$$

Очевидно для ФУПВ имеем:

$$W_{\bar{z}|\bar{x}, \bar{y}}(\bar{\zeta}|\bar{\xi}, \bar{\eta}) = D(\bar{\zeta} - \hat{\alpha}\bar{\xi} - \hat{\beta}\bar{\eta}).$$

Соответственно (11) порождает:

$$W_{\bar{z}}(\bar{\zeta}) = \int_{D_{\bar{\xi}}} \int_{D_{\bar{\eta}}} D\{\bar{\zeta} - \hat{\alpha}\bar{\xi} - \hat{\beta}\bar{\eta}\} W_{\bar{x}, \bar{y}}\{\bar{\xi}, \bar{\eta}\} d\bar{\xi} d\bar{\eta}. \quad (13)$$

В (13) $D_{\bar{\xi}}, D_{\bar{\eta}}$ динамическая область: $\bar{\xi} \in D_{\bar{\xi}}; \bar{\eta} \in D_{\bar{\eta}}$ ГА и ГФ индикаторных наблюдений.

Если поля \bar{x} и \bar{y} и поля $\bar{\xi}, \bar{\eta}$ связаны между собой линейно (6), то тогда:

$$\bar{x} = \hat{A}\bar{y}; \quad \bar{\xi} = \hat{A}\bar{\eta}, \quad (14)$$

где формально \hat{A} – некоторый оператор, связывающий динамику полей $\bar{\xi}, \bar{\eta}$ с механизмом их совместного распространения в сплошной морской среде в связи с существованием исходно единого источника этих полей q .

По той же информационной технологии получим:

$$\begin{aligned} W_{\bar{z}}(\bar{\zeta}) &= \int_{D_{\bar{\xi}}} \int_{D_{\bar{\eta}}} D\{\bar{\zeta} - \hat{\alpha}\bar{\xi} - \hat{\beta}\bar{\eta}\} D\{\bar{\xi} - \hat{A}\bar{\eta}\} W_{\bar{y}}\{\bar{\eta}\} d\bar{\xi} d\bar{\eta} = \\ &= \int_{D_{\bar{\eta}}} D\{\bar{\zeta} - \hat{\alpha}\hat{A}\bar{\eta} - \hat{\beta}\bar{\eta}\} W_{\bar{y}}\{\bar{\eta}\} d\bar{\eta} = \int_{D_{\bar{\eta}}} D\{\bar{\zeta} - (\hat{\alpha}\hat{A} + \hat{\beta})\bar{\eta}\} W_{\bar{y}}\{\bar{\eta}\} d\bar{\eta}. \end{aligned} \quad (15)$$

Теперь удобно ввести оператор \hat{B} в виде:

$$\hat{B} = \hat{\alpha}\hat{A} + \hat{\beta}, \quad (16)$$

где оператор \hat{A} определен в (14). Дальнейшее вычисление (16) в принципе возможно, но удобнее при этом связать (16) с (2) через наблюдение смеси сигнала, шума (гипотеза H_1) и чистого шума (гипотеза H_0) в ГА и ГФ системах, где вектора \bar{x} или \bar{y} , равно как и $\bar{\xi}, \bar{\eta}$, являются аддитивными полями сигнала и шума. Такая модель практически всегда отвечает реальности (хотя эти эффекты могут проявиться в некоторых условиях работы, реализуемых в природе). Очевидно, в данной линейной модели игнорируются эффекты случайной модуляции сигнала шумом, то есть:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \bar{x}_S + \bar{x}_N; & \bar{y} &= \bar{y}_S + \bar{y}_N; & \bar{z} &= \bar{z}_S + \bar{z}_N \\ \bar{\xi} &= \bar{\xi}_S + \bar{\xi}_N; & \bar{\eta} &= \bar{\eta}_S + \bar{\eta}_N; & \bar{\zeta} &= \bar{\zeta}_S + \bar{\zeta}_N \end{aligned} \right\}. \quad (17)$$

Для статистически независимых полей сигнала и шума в линейном по обработке приближении:

$$\bar{Z}_0 = \bar{S}_0 + \bar{N}_0 \rightarrow W_Z(Z_0) = \int W_S(\bar{Z}_0 - \bar{N}_0) W_N(\bar{N}_0) d\bar{N}_0, \quad (18)$$

где $\bar{Z}_0, \bar{S}_0, \bar{N}_0$ – реализации (т.е. $\bar{S}_0 \triangleq \bar{Z}_{0S}; \bar{N}_0 \triangleq \bar{Z}_{0N}$ есть сигнал и помеха).

Отметим, что модель независимости векторов $\bar{Z}_{0S}, \bar{Z}_{0N}$ – при любом числе их компонент – следует в рамках данной задачи из различия физических механизмов генерации сигнала \bar{Z}_{0S} и шума \bar{Z}_{0N} для любых линейных обработок.

Из (17), (18) получим по обычной континуальной Фурье-технологии для ХФ θ_Z :

$$\theta_Z\{\bar{\mu}\} = \int_{D_{\bar{\eta}}} e^{i(\bar{v}^T, \bar{B}\bar{\eta})} W_{\bar{y}}\{\bar{\eta}\} dT\{\bar{\eta}\}; \quad \hat{B} = \hat{\alpha}\hat{A} + \hat{\beta} \triangleq \hat{B}\{\hat{\alpha}, \hat{A}, \hat{\beta}\}, \quad (19)$$

где \hat{A} и \hat{B} – определены выше в (14), (16).

$\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ – пока некоторые неизвестные операторы в алгоритме (11) и \hat{A} – определен выше в (17) через $\hat{G}_{\Gamma\Phi}, \hat{L}_{\Gamma A}$ – динамические операторы ГА и ГФ каналов распространения.

При наличии ГА и ГФ антенных систем, фиксирующих пространственно-временные параметры канала распространения, приходим к возможности регистрации изменений границ кластерных или фрактальных наблюдаемых полей [3, 4].

Из (19) при условии $\hat{B} = \hat{B}^T$ имеем:

$$(\bar{v}^T, \hat{B}\bar{\eta}) = (\bar{\eta}^T, \hat{B}^T \bar{v}') = (\bar{\eta}^T, \hat{B}\bar{v}). \quad (20)$$

Согласно (15), а также при условии $\hat{A} = \hat{A}^T$ из (20) получаем:

$$\hat{B}^T \triangleq \hat{B} \triangleq \hat{B}. \quad (21)$$

Тогда из (20), (21) следует цепочка равенств:

$$\theta_Z\{\bar{v}\} \triangleq \theta_{\bar{y}}\{\hat{B}, \bar{v}\} \triangleq \theta_{\bar{y}}\{(\hat{\alpha}\hat{A} + \hat{\beta}, \bar{v})\} \triangleq \theta_Z\{\bar{v}, \hat{\alpha}, \hat{\beta}\},$$

т.е. ХФ с учетом (20), (21) управляется операторами $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ алгоритмической обработки.

Совершенно аналогично можно установить связь вида

$$\theta_Z\{\bar{v}\} = \theta_{\bar{x}}\{(\hat{\alpha}\hat{A} + \hat{\beta}, \bar{v})\}, \quad (22)$$

в том числе, и для коммутируемых операторов \hat{A} и \hat{A}^T .

Теперь нетрудно видеть, что при выборе модели (18) из (22) следует:

$$\theta_{\bar{Z}_S + \bar{Z}_N}\{\bar{v}\} = \theta_{\bar{y}_S}\{\hat{B}_S, \bar{v}\} \theta_{\bar{y}_N}\{\hat{B}_N, \bar{v}\}, \quad (23)$$

где \hat{B}_S и \hat{B}_N – операторы интеграционной и межсистемной обработки (11) для независимых сигналов и помех, предлагаемой к использованию в ГА и ГФ интегрированных системах. При этом в (23) входят операторы

$$\hat{B}_S = \hat{\alpha}\hat{A}_S + \hat{\beta}; \quad \hat{B}_N = \hat{\alpha}\hat{A}_N + \hat{\beta},$$

что очевидно (см.рис. 1), поскольку регистрация $\bar{Z}_{N+S} \triangleq \{(\bar{Z}_{\Gamma A}, \bar{Z}_{\Gamma\Phi})_S; (\bar{Z}_{\Gamma A}, \bar{Z}_{\Gamma\Phi})_N\}$ ГАС и ГФС происходит на двух связанных индикаторах одновременно, хотя \hat{A}_S и \hat{A}_N – опе-

раторы физически различны (сигнал и фон). Из (23) вытекает известное выражение для отношения правдоподобия.

Отношение правдоподобия и характеристические функционалы задач и оценивания. Для отношения правдоподобия (ОП) в терминах ХФ для ГА, ГФ задач имеем (см.[3, 5]):

$$\Lambda_{\bar{z}}\{\bar{\zeta}\} = \left[\int_{D_{\bar{\chi}}} \theta_S\{\bar{\chi}\} e^{-i(\bar{\chi}^T \bar{\zeta})} \theta_N\{\bar{\chi}\} d\bar{\chi} \right] \left[\int_{D_{\bar{\chi}}} \theta_N\{\bar{\chi}\} e^{-i(\bar{\chi}^T \bar{\zeta})} d\bar{\chi} \right]^{-1}, \quad (24)$$

где $\bar{\zeta}$ – реализация выходного вектора как вектора наблюдения $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ каналов.

Здесь $\theta_S\{\bar{\chi}\} \triangleq \theta_{\bar{\zeta}_S}\{\bar{\chi}\}$; $\theta_N\{\bar{\chi}\} \triangleq \theta_{\bar{\zeta}_N}\{\bar{\chi}\}$ есть ХФ выходного наблюдаемого вектора $\bar{\zeta}_{S,N}$, связанного через систему обработки с вектором $\bar{\varepsilon}_{S,N}$ на входе интегрированной динамической системы. Таким образом, согласно (23), (24) получаем:

$$\theta_{\bar{S}}\{\bar{\chi}\} = \theta_{\bar{y}_S}\{\hat{B}_S \bar{\chi}\}; \quad \theta_{\bar{N}}\{\bar{\chi}\} = \theta_{\bar{y}_N}\{\hat{B}_N \bar{\chi}\}; \quad (\bar{S} \triangleq \bar{Z}_S; \quad \bar{N} \triangleq \bar{Z}_N),$$

где \bar{y}_S, \bar{y}_N есть \bar{S}, \bar{N} компоненты сигнала и шума входного процесса (т.е. наблюдение – в данном случае ХФ – одной из регистрирующих систем, входящих в интеграцию (11)).

Второй канал в (1) связывает гидроакустические и гидрофизические механизмы распространения, и согласно (7) эта связь зависит от произведения $(\hat{L}_{GA}^{-1}, \hat{L}_{GF}^{-1})$ линейных операторов. Отсюда следует:

$$\hat{Z}_{GA,GF} = -\hat{L}_{GA} \hat{G}_{GF}.$$

Наблюдательная оценка характеристических функционалов θ_S и помех θ_N в (24) может быть проведена многоканальными (по числу пространственных каналов) антенными системами ГА и ГФ алгоритмов, что в итоге приведет к оценке отношения правдоподобия. При этом \bar{y}_S, \bar{y}_N - векторы входных наблюдений выступают как компоненты интеграционной аддитивной пространственно-временной обработки на выходе сформированных пространственных каналов.

Если полагать, что входные процессы \bar{y}_S, \bar{y}_N по своей природе являются гауссовыми, то ХФ θ_S и θ_N приобретает вид:

$$\left. \begin{aligned} \theta_S\{\bar{\chi}\} &= \exp\left\{-\frac{1}{2}(\bar{\chi}^T, \hat{Z}_S, \bar{\chi}) \exp i(\bar{\chi}^T, \bar{a}_{\bar{\zeta}_S})\right\} \\ \theta_N\{\bar{\chi}\} &= \exp\left\{-\frac{1}{2}(\bar{\chi}^T, \hat{Z}_N, \bar{\chi}) \exp i(\bar{\chi}^T, \bar{a}_{\bar{\zeta}_N})\right\} \end{aligned} \right\},$$

где процесс $\bar{\zeta}_S$ имеет среднее значение $M\bar{\zeta}_S = \bar{a}_{\bar{\zeta}_S}$. Аналогично, оценка корреляционной матрицы сигнального поля имеет вид:

$$Z_{\bar{\zeta}_S} \triangleq \hat{Z}_S \triangleq M\bar{\zeta}_S^T \bar{\zeta}_S.$$

По той же схеме для помехового поля анализируется процесс $\bar{\zeta}_N$, который имеет среднее значение $M\bar{\zeta}_N = \bar{a}_{\bar{\zeta}_N}$, поэтому оценка корреляционной матрицы помехового поля имеет вид:

$$Z_{\bar{\zeta}_N} \triangleq \hat{Z}_N \triangleq M\bar{\zeta}_N^T \bar{\zeta}_N. \quad (25)$$

Ясно, что вся схема анализа распространяется на случайно-параметрические системы [3, 5].

Максимально правдоподобное оценивание. Полученное выражение (24) для функционала отношения правдоподобия $\Lambda_{\bar{z}}\{\bar{\zeta}\}$ позволяет создать алгоритм максимально правдоподобного оценивания (МПО) при выбранной нами структуре интеграции (см.рис. 1) для гауссовых или близких к ним распределений (например, суперпозиция гауссовых распределений с заданными законами изменения их первых и вторых моментов) [6-8].

Далее рассмотрим задачу МПО корреляционных операторов $\hat{Z}_{S,N}$ и векторов средних значений $\bar{a}_{\zeta_S, \zeta_N}$, относящихся к выходным наблюдениям интегрированных ГАС и ГФС согласно схеме интеграций на рис. 1.

В качестве объекта решения МПО задачи (24) могут, очевидно, выступать и неизвестные параметры источников генерации полей и среды их распространения в случае одновременной работы ГА и ГФ систем по некоторым критериям их эффективности.

Для решения этой задачи иногда технически удобнее переписать выражение (24), перейдя от ХФ $\theta\{\bullet\}$ к кумулянтным функционалам $K\{\bullet\}$, связанным с $\theta\{\bullet\}$ логарифмическим соотношением:

$$K_S\{\bar{\chi}\} = \ln \theta_S\{\bar{\chi}\}; \quad K_N\{\bar{\chi}\} = \ln \theta_N\{\bar{\chi}\}. \quad (26)$$

Осуществляя преобразование (25), (26) всех ХФ, входящих в (24), после некоторых технических операций получим выражение для отношения правдоподобия $\Lambda_{\bar{z}}\{\bar{\zeta}\}$:

$$\Lambda_{\bar{z}}\{\bar{\zeta}\} = \frac{\int_{D_{\bar{\chi}}} \exp\left[K_S\{\bar{\chi}\} + K_N\{\bar{\chi}\} - i(\bar{\chi}^T, \bar{\zeta})\right] d\bar{\chi}}{\int_{D_{\bar{\chi}}} \exp\left[K_N\{\bar{\chi}\} - i(\bar{\chi}^T, \bar{\zeta})\right] d\bar{\chi}}. \quad (27)$$

Ограничиваясь гауссовыми ГА и ГФ полями для кумулянтных функционалов $K\{\bullet\}$ и введя обозначение $K_S\{\bar{\chi}\} + K_N\{\bar{\chi}\} = K_{S,N}\{\bar{\chi}\}$, получаем (см. (25)):

$$K_{S,N}\{\bar{\chi}\} = -\frac{1}{2}(\bar{\chi}^T, \hat{K}_{S,N}\bar{\chi}) + i(\bar{\chi}^T, \bar{a}_{\zeta_{S,N}}^{(K)}). \quad (28)$$

Учитывая, что кумулянтные (корреляционные) ядра $K_{S,N}$ и векторы средних значений $\bar{a}_{\zeta_{S,N}}^{(K)}$ зависят от функциональных операторов $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$, ответственных за интеграцию ГАС и ГФС (17)-(23), а также через оператор \hat{A} зависят от параметров распространения, входящих в функции Грина $\hat{G}_{ГА,ГФ}(\bar{r}, t|\bar{r}', t') \triangleq \hat{L}_{ГА,ГФ}^{-1}(\bar{r}, t|\bar{r}', t')$, то ясно, что отношение правдоподобия зависит от этих же операторных параметров, т.е. $\Lambda_{\bar{z}}\{\bar{\zeta}\} \triangleq \Lambda\{\bar{\zeta}|\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \bar{\varepsilon}\}$; $\bar{\varepsilon}$ - вектор неизвестных параметров среды распространения ГА и ГФ полей. Очевидно, в более общих физических и технико-информационных условиях могут возникать ситуации для появления также и дополнительных неизвестных (управляющих эффективностью окончательного алгоритма) параметров – уже системно-алгоритмического происхождения.

Подчеркнем также, что в связи с алгоритмической структурой функционирования ГА и ГФ систем операторы $\hat{K}_{S,N}$ и векторы $\bar{a}_{\zeta_{S,N}}^{(K)}$ являются функционалами введенных

через (11) операторов $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$, управляющих, в том числе, и показателями полезности интеграции как информационной операции. В этом случае параметрические зависимости в (28) приобретают развернутый вид:

$$\hat{K}_{S,N} \triangleq \hat{K}_{S,N} [\hat{\alpha}, \hat{\beta} | \bar{\varepsilon}]; \quad \bar{a}_{S,N}^{(K)} \triangleq \bar{a}_{S,N}^{(K)} [\hat{\alpha}, \hat{\beta} | \bar{\mu}]. \quad (29)$$

Ясно, что операторы $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ и вводимый ниже вектор $\bar{\mu}$ имеют различный информационный смысл (алгоритмически системный и канално-параметрический, соответственно) будучи, очевидно, объектами управления для достижения поставленной цели – оптимизации интегрированной ГА и ГФ системы.

Представление решений МПО задачи. На базе определения (20) для ХФ $\theta_{\bar{z}}$, принимая во внимание (26), (27) и используя обычное выражение для гауссова континуального интеграла [9, 10], можно построить замкнутую форму для отношения правдоподобия $\Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} \}$. Соотношение (27) представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} \ln \Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} \} = & \ln \int_{D_{\bar{z}}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\bar{\chi}^T, \hat{K}_{S,N} \bar{\chi}) + i (\bar{\chi}^T, \bar{a}_{S,N}^{(K)} - \bar{\zeta}) \right] d\bar{\chi} - \\ & - \ln \int_{D_{\bar{z}}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\bar{\chi}^T, \hat{K}_N \bar{\chi}) + i (\bar{\chi}^T, \bar{a}_{S,N}^{(K)} - \bar{\zeta}) \right] d\bar{\chi}, \end{aligned} \quad (30)$$

где $\bar{a} \triangleq \langle K \rangle$ - среднее значение K .

Если теперь в дополнение учесть соотношения (29), то на базе (30) можно так же ставить, очевидно, достаточно общую задачу МПО. Для этого удобно ввести расширенный функциональный вектор:

$$\bar{\eta} \triangleq [\hat{\alpha}, \hat{\beta} | \bar{\varepsilon}]^T \triangleq [\alpha_1 \dots \alpha_m, \beta_1 \dots \beta_n, \varepsilon_1 \dots \varepsilon_\sigma]^T \quad (31)$$

с размерностью $\dim \bar{\eta} = m + n + \sigma \triangleq N_{\bar{\eta}}$ и с сохранением информационного и физического смысла векторов $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \bar{\varepsilon}$ как аргументов корреляционного оператора \hat{K} и вектора средних значений $\bar{a}_{S,N}^{(K)}$. В связи с этим функционал $\ln \Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} \}$ принимает также обобщенную форму:

$$D \{ \bar{\zeta} | \bar{\eta} \} = \ln \Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} | \bar{\eta} \}, \quad (32)$$

где расширенный вектор $\bar{\eta}$ выступает в этих условиях как объект максимально-правдоподобного управления, в котором $[\hat{\alpha}, \hat{\beta}]^T$ - вектор неизвестных операторов алгоритма интеграции ГАС и ГФС. В (32) и далее проведено формальное переобозначение $K \rightarrow D$ для кумулянтных функционалов (26). В (31) $[\hat{\alpha}, \hat{\beta}]^T$ есть вектор неизвестных операторов алгоритма интеграции ГАС и ГФС. Соответственно $[\varepsilon_1 \dots \varepsilon_\sigma]^T$ - вектор неизвестных и, возможно, случайных физических параметров информационного канала распространения (источник – среда – алгоритм). Возвращаясь к (30) и вычисляя гауссовы континуальные интегралы, получим:

$$K_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} \} \triangleq \ln \Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} \} = \ln \text{Det} [\hat{K}_{S,N}] - \ln \text{Det} [\hat{K}_N] + (\bar{a}_{S,N} - \bar{\zeta}) - [\hat{K}_{S,N}^{-1} - \hat{K}_N^{-1}] (\bar{a}_{S,N} - \bar{\zeta}), \quad (33)$$

где $K_{S,N} \{\bar{\zeta}\}$ определен в (28).

Используя соотношения (29) и известное представление некоторого ядерного оператора \widehat{Q} в виде:

$$\ln Det \widehat{Q} = Sp \ln \widehat{Q},$$

(знак Sp – означает след ядерного оператора [11]), преобразуем (33) к форме:

$$\ln \Lambda_{\bar{z}} \{\bar{\zeta}\} = Sp \ln \widehat{L}_{\bar{z}}^{(1)} + \left(\bar{p}_{S,N}^T [\bar{\zeta}]^T, \widehat{L}_{\bar{z}}^{(2)} \bar{p}_N [\bar{\zeta}] \right). \quad (34)$$

При этом вектор $\bar{\zeta}$ есть вектор наблюдаемых выходных процессов.

В (34) введены обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \widehat{L}_{\bar{z}}^{(1)} &= \widehat{K}_N^{-1} [\widehat{K}_N + \widehat{K}_S]; \quad \widehat{K}_{N,S} \triangleq \widehat{K}_{N,S} \{\bar{\zeta}\} \\ \widehat{L}_{\bar{z}}^{(2)} &= [\widehat{K}_N + \widehat{K}_S]^{-1} - \widehat{K}_N^{-1}; \quad \bar{p}_{S,N} [\bar{\zeta}] = \bar{a}_{\bar{\zeta}_S} + \bar{a}_{\bar{\zeta}_N} - \bar{\zeta}; \quad \bar{p}_N [\bar{\zeta}] = \bar{a}_{\bar{\zeta}_N} - \bar{\zeta} \end{aligned} \right\}. \quad (35)$$

Здесь \widehat{K}^{-1} - обратный оператор; $\widehat{K}^{-1}\widehat{K} = \widehat{I}$. После обычных операторных преобразований получаем из (35):

$$\left. \begin{aligned} \widehat{L}_{\bar{z}}^{(1)} &= \widehat{I} \cdot \widehat{\mu}; \quad \widehat{\mu} = -\widehat{K}_N^{-1} \widehat{K}_S \\ \widehat{L}_{\bar{z}}^{(2)} &= \widehat{\mu} [\widehat{K}_N (\widehat{I} - \widehat{\mu})]^{-1} \end{aligned} \right\}. \quad (36)$$

Оператор $\widehat{\mu}$ в (36) определяет прозрачную структуру выбеливающего фильтра, управляемого корреляционными характеристиками сигнала (S) и шума (N). Тогда выражение (34) принимает вид (см.(32)):

$$D\{\bar{\zeta}|\bar{h}\} = \ln \Lambda_{\bar{z}} \{\bar{\zeta}|\bar{h}\} = Sp \ln (\widehat{I} - \widehat{\mu}) - \frac{1}{2} \left(\bar{p}_{S,N}^T [\bar{\zeta}]^T, \widehat{\mu} [\widehat{K}_N (\widehat{I} - \widehat{\mu})]^{-1} \bar{p}_N [\bar{\zeta}] \right). \quad (37)$$

С учетом (34), (37) преобразуем квадратурную формулу - второе слагаемое $\psi[\bar{\zeta}, \widehat{\mu}]$ в (37), которое после преобразований в симметризованном виде представится формулой:

$$\psi[\bar{\zeta}, \widehat{\mu}] = \left([\bar{\zeta} - (\bar{a}_{\bar{\zeta}_S} + \bar{a}_{\bar{\zeta}_N})]^T; \quad \widehat{\mu} [\widehat{K}_N (\widehat{I} - \widehat{\mu})]^{-1} [\bar{\zeta} - \bar{a}_{\bar{\zeta}_N}] \right).$$

Очевидно, разность $\bar{\zeta} - \bar{a}_{\bar{\zeta}_N} = \bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N}$ представляет собой пульсацию вектора наблюдений $\bar{\zeta} \triangleq \bar{\zeta} \{\widehat{\alpha}, \widehat{\beta}, \widehat{\varepsilon}\}$. Соответственно (37) в развернутом виде есть:

$$\ln \Lambda_{\bar{z}} \{\bar{\zeta}\} = Sp \ln (\widehat{I} - \widehat{\mu}) - \frac{1}{2} \left([\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} - \bar{a}_{\bar{\zeta}_N}]^T; \quad \widehat{\mu} [\widehat{K}_N (\widehat{I} - \widehat{\mu})]^{-1} \bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} \right), \quad (38)$$

где информационный оператор $\widehat{\mu}$ определен в (36).

Физический и статистический смысл этой формулы возникает в связи с определением $\widehat{\mu} = -\widehat{K}_N^{-1} K_S$ и средних полей $\bar{a}_{\bar{\zeta}_N}$ (29). Выражение (38) в скрытой форме также зависит от параметров $(\widehat{\alpha}, \widehat{\beta}, \widehat{\varepsilon})$ и потому может служить основой для решения МПО задачи [1], поскольку операторы $\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N}, \bar{a}_{\bar{\zeta}_N}, \widehat{K}_N$ и $\widehat{\mu} = -\widehat{K}_N^{-1} K_S$ являются также зависящими

от $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon}$. Для алгоритмов интеграции ГАС и ГФС выбранной нами структуры явная зависимость $\hat{\mu}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon})$ задается через (20)-(24).

Анализ МПО системы. Учитывая общую параметрическую связь (для полей сигнала S и помех N)

$$D_Z \{ \bar{\zeta} | h \} \triangleq \ln \Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} | h \} \triangleq \ln \Lambda_{\bar{z}} \{ \bar{\zeta} | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \}, \quad (39)$$

определение оптимальных параметров оценивания $(\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon})_{opt}$ сводится, как известно [1], к анализу системы уравнений максимального правдоподобия вида:

$$\frac{\delta}{\delta \hat{\alpha}} D_Z \{ \bar{\zeta} | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} = 0; \quad \frac{\delta}{\delta \hat{\beta}} D_Z \{ \bar{\zeta} | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} = 0; \quad \frac{\delta}{\delta \hat{\varepsilon}} D_Z \{ \bar{\zeta} | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} = 0; \quad (40)$$

где оптимальный набор $(\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon})_{opt}$ есть корни этой системы

$$\hat{\alpha}_{opt} = \hat{F}_{\hat{\alpha}}^{opt} \{ \bar{\zeta} \}; \quad \hat{\beta}_{opt} = \hat{F}_{\hat{\beta}}^{opt} \{ \bar{\zeta} \}; \quad \hat{\varepsilon}_{opt} = \hat{F}_{\hat{\varepsilon}}^{opt} \{ \bar{\zeta} \},$$

где $\hat{\alpha}_{opt} = \hat{F}_{\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon}}^{opt}$ есть решения системы (40).

Учитывая связь [11] $D_F \{ \hat{\mu} \} \triangleq Det \{ \hat{I} - \hat{\mu} \} = \exp Sp \ln \{ \hat{I} - \hat{\mu} \}$ ($D_F \{ \bullet \}$ – определитель Фредгольма), мы можем преобразовать выражение (38) и получить следующий прозрачный результат, управляемый пульсационными параметрами $\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N}$ подпорогового наблюдения помех $N(\bar{x}, t)$:

$$D_Z \{ \bar{\zeta} \} = \exp \frac{1}{2} Sp \ln \{ \hat{I} - \hat{\mu} \} - \frac{1}{2} \left(\left[\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} - \bar{a}_{\bar{\zeta}_N} \right]^T, \hat{\mu} \left[\hat{K}_N (\hat{I} - \hat{\mu})^{-1} \right] \bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} \right), \quad (41)$$

на основе которого можно, очевидно, построить МПО систему (40) наблюдений $\bar{\zeta}$ при фиксированных - неизвестных!-параметрах $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon}$.

В развернутой параметризованной форме выражение (41) имеет вид:

$$\begin{aligned} D \{ \bar{\zeta} | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} &= \exp \frac{1}{2} Sp \ln \left[\hat{I} - \hat{\mu} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left(\left[\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} - \bar{a}_{\bar{\zeta}_N} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} \right], \hat{\mu} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} \left[\hat{K}_N \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} (\hat{I} - \hat{\mu} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \})^{-1} \right] \bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} \right). \end{aligned} \quad (42)$$

Ясно, что наблюдаемый вектор $\bar{\zeta}$ есть некоторое физическое поле (выход алгоритмической структуры), зависящее от (\bar{r}, t) (пространство, время) с учетом движения по курсу носителя ГАС и ГФС. Это свойство распространяется также на операторы $\hat{\mu}, \hat{K}_N, \bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N}$ и $\bar{a}_{\bar{\zeta}_N}$.

Тогда функционал D приобретает также развернутую форму:

$$D \{ \bar{\zeta} | \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} \triangleq D \left\{ \bar{\zeta} | \hat{\mu} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \}, \hat{K}_N \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \}, \bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \}, \bar{a}_{\bar{\zeta}_N} \{ \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \} \right\}.$$

В упомянутых выше модуляционных моделях, где $\bar{r} \triangleq \bar{r}(t)$, аналогичные свойства описывают также и параметры $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon} \triangleq \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\varepsilon}(\bar{x}(t), t)$.

Соответственно из (40), (41) ($\frac{\delta}{\delta[\bullet]}$ – символ вариационной производной) следует,

что алгоритмическая система МПО для операторов $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ приобретает вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \hat{\alpha}} D_z \triangleq \frac{\delta D}{\delta \hat{\mu}} \cdot \frac{\delta \hat{\mu}}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta}{\delta \hat{\beta}} D_z \triangleq \frac{\delta D}{\delta \hat{\mu}} \cdot \frac{\delta \hat{\mu}}{\delta \hat{\beta}} = 0 \\ \frac{\delta}{\delta \hat{\alpha}} D_z = \frac{\delta D}{\delta \hat{K}_N} \cdot \frac{\delta \hat{K}_N}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta}{\delta \hat{\beta}} D_z = \frac{\delta D}{\delta \hat{K}_N} \cdot \frac{\delta \hat{K}_N}{\delta \hat{\beta}} = 0 \\ \frac{\delta}{\delta \hat{\alpha}} D_z = \frac{\delta D}{\delta \bar{\Pi}} \cdot \frac{\delta \bar{\Pi}}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta}{\delta \hat{\beta}} D_z = \frac{\delta D}{\delta \bar{\Pi}} \cdot \frac{\delta \bar{\Pi}}{\delta \hat{\beta}} = 0 \\ \frac{\delta}{\delta \hat{\alpha}} D_z = \frac{\delta D}{\delta \bar{a}_{\zeta_s}} \cdot \frac{\delta \bar{a}_{\zeta_s}}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta}{\delta \hat{\beta}} D_z = \frac{\delta D}{\delta \bar{a}_{\zeta_s}} \cdot \frac{\delta \bar{a}_{\zeta_s}}{\delta \hat{\beta}} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (43)$$

Учитывая, что – в связи с явной формой (38) - первые множители в правой части (43) (в силу определения (40)-(43) функционала D) не равны нулю, то выполнение (43) сводится к системе:

$$\frac{\delta \hat{\mu}}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta \hat{\mu}}{\delta \hat{\beta}} = 0; \quad \frac{\delta \hat{K}_N}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta \hat{K}_N}{\delta \hat{\beta}} = 0; \quad \frac{\delta \bar{\Pi}}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta \bar{\Pi}}{\delta \hat{\beta}} = 0; \quad \frac{\delta \bar{a}_{\zeta_s}}{\delta \hat{\alpha}} = 0; \quad \frac{\delta \bar{a}_{\zeta_s}}{\delta \hat{\beta}} = 0$$

или символически $\left(\frac{dx}{dt} \triangleq \bar{x}_i \right)$, откуда следует цепочка равенств:

$$\hat{\mu}_{\hat{\alpha}} = \hat{\mu}_{\hat{\beta}} = \hat{K}_{N\hat{\alpha}} = \hat{K}_{N\hat{\beta}} = \bar{\Pi}_{\hat{\alpha}} = \bar{\Pi}_{\hat{\beta}} = \bar{a}_{\zeta_s, \hat{\alpha}} = \bar{a}_{\zeta_s, \hat{\beta}} = 0. \quad (44)$$

Ясно, что система уравнений (44) определяет набор корней $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_{n_\alpha}$ и $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_{n_\beta}$, оптимизирующих веса $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ структуры интеграции ГАС и ГФС в условиях, когда набор $\hat{\mu}, \hat{K}_N, \bar{\Pi}, \bar{a}_{\zeta_s}$ либо алгоритмически измерим (адаптивная задача), либо задан исходя из априорных моделей. Учитывая определение оператора $\hat{\mu}$ в (36) через соотношение

$$\hat{\mu} = \hat{K}_N^{-1} \hat{K}_S,$$

видим, что достаточным набором в этом случае может служить информация о корреляционной структуре индикаторных процессов и о структуре средних значений \bar{a}_{ζ_s} полей сигналов. Тем самым, на алгоритмическом уровне мы приходим к пороговым системам, анализируемым в рамках использования известного критерия Неймана-Пирсона для оценки полезности интеграции, а в задачах МПО – к исследованию границы Рао-Крамера. Такой подход возвращает нас к известным результатам анализа рассмотренных выше пороговых схем для нормальных (или логнормальных) распределений для оценки полезности интеграции ГА и ГФ систем. С указанных позиций нетрудно видеть, что входящий в (42) оператор

$$\hat{T} = \hat{\mu} \left[\hat{K}_N (\hat{I} - \hat{\mu})^{-1} \right]$$

после преобразований сводится к простому и прозрачному по физическому смыслу виду:

$$\hat{T} = \hat{K}_N^{-1} \hat{K}_S \hat{K}_N,$$

и, соответственно, выражение (39) для логарифма отношения правдоподобия приобретает вид:

$$D_{\bar{z}}\{\bar{\zeta}\} \triangleq D_F^{-1/2}\{\widehat{K}_N^{-1}\widehat{K}_S\} + \frac{1}{2}\left(\left(\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N} - \bar{a}_{\bar{\zeta}_S}\right)^T, \widehat{K}_N^{-1}\widehat{K}_S\widehat{K}_N\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N}\right).$$

Данное выражение показывает, что вероятностные свойства наблюдаемых на выходе индикатора интегрированных ГАС и ГФС в рамках выбранной модели управляются корреляционными функциями сигнала и помех и первыми статистическими моментами полей сигнала и шума, т.е. операторами $\widehat{K}_N^{-1}, \widehat{K}_S$ и определенными выше (37)-(39) векторами $\bar{\Pi}_{\bar{\zeta}_N}, \bar{a}_{\bar{\zeta}_S}$.

Ясно, что рассматриваемая интеграция ГАС и ГФС является, очевидно, одним из возможных направлений развития радиоэлектронных систем на носителях различного назначения.

Общие полученные соотношения в силу информационной интеграции полей – в рамках конкретных физических моделей ГА и ГФ каналов распространения требуют, очевидно, исследования показателей качества систем, адресованных на решение конкретных задач. Такого рода направленность исследований и получаемые при этом результаты служили содержанием работы [12] для конкретных условий распространения ГА и ГФ полей, создаваемых и регистрируемых движущимися источниками и носителями.

Ключевые слова: случайные поля, динамика, информация, адаптация, оценивание, сигнал, помеха.

Литература

1. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. Гл. VI-VIII. М.: Наука, 1979.
2. Морс Ф.М., Фейсбах Г.И. Методы теоретической физики. Т.1. М.: ИЛ, 1958.
3. Клячкин В.И. Вероятностная модель случайно-неоднородных акустических полей и структура отношения правдоподобия. Доклады X школы-семинара акад.Л.М.Бреховских. «Акустика океана», XIV сессия РАО. Наука. М.: ГЕОС, 2004 г..
4. Клячкин В.И. Статистические уравнения. Т. II. М.: Наука, 2008.
5. Клячкин В.И. О трансформации вероятностных структур случайных полей источников в процессе нелинейно-параметрических отображений // Акустический журнал. РАО. Т.54. № 4. 2008.
6. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Сов. радио, 1975.
7. Хилл Т.Л. Статистическая механика. М.: ИЛ, 1960.
8. Клячкин В.И. О вероятностной структуре поля звука, порожденного турбулентностью // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1979. № 1. С.131-145.
9. Фейнман Р.П. Операторное исчисление, имеющее приложение к квантовой электродинамике // Phys. Rev. 1951. V.84. P.108-128.
10. Клячкин В.И. К теории нелинейных преобразований случайных процессов // Изв. ВУЗов. Радиофизика. Горький. 1974. Т. XVII. № 1. С.134-147.
11. Гохберг И.Ц., Крейн М. Введение в теорию линейных несамосопряженных операторов. М.: Наука, 1965.
12. Клячкин В.И. Вероятностная структура некоторых нелинейных задач статистической гидрофизики и гидроакустики. Сб. науч. тр. «Фундаментальная и прикладная гидрофизика». СПбНЦ РАН. 2008. № 2. С.3-12.

Статья поступила в редакцию 06.04.2009 г.