

Из изложенного следует, что именно воспроизведение входных воздействий в виде последовательности X_i $\frac{N}{i=1}$ с требуемыми свойствами составляет необходимую основу для получения количественных оценок, являющихся целью метрологического анализа.

Вместе с тем, графическое или табличное представление двумерной плотности вероятности способствует правильной интерпретации как свойств формируемых последовательностей, так и получаемых с их помощью результатов метрологического анализа, выполняемого с использованием имитационного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров С. А. Прикладной анализ случайных процессов. Самара: СНЦ РАН, 2007. 582 с.
2. Devroye. L. Algorithms for generating discrete random variables with a given generating function or a given moment sequence // SIAM J. on Scientific and Statistical Computing. Philadelphia, SIAM. Iss. 1. Jan. 1991. Vol. 12. P. 107–126.
3. Saucier R. Computer generation of statistical distributions/ army research laboratory. Stroming Media, 2000. P. 105.

M. T. Rzieva

THE TWO-DIMENSIONAL PROBABILITY DISTRIBUTION OF RANDOM SEQUENCE WITH A GIVEN CORRELATION BETWEEN ADJACENT VALUES

This article examines the two-dimensional probability distribution of random sequence with a given correlation between adjacent values. There are five random sequence probability distribution rules to be considered. All of them are widely used in the metrological analysis.

Random sequence, correlation of adjacent values, normal distribution, uniform distribution, Simpson's rule, arksinusoidalny distribution, Rayleigh distribution, two-dimensional probability distribution, histogram, the depth of correlation

УДК 551.465

Буй Чыонг Занг

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ В РАЙОНЕ ЗАЛИВА БАКБО

Рассмотрена помеховая обстановка в районе залива Бакбо. Выбрана модель описания помех и на ее основе произведена количественная оценка уровня помех на входе акустической антенны для различных сезонов года.

Залив Бакбо, моделирование, гидроакустические помехи, динамические шумы, шумы судоходства, гидроакустическая система, акустическое поле

Анализ источников подводных шумов залива Бакбо. Модель описания помех. Собственные шумы моря являются важным акустическим параметром среды, определяющим воздействие помех среды на антенны гидроакустических средств. Как известно [1]–[4], основными источниками таких шумов являются:

- приливы и гидростатические явления, связанные с волнением на поверхности моря;
- сейсмические процессы;
- океаническая турбулентность;
- судоходство;
- шумы биологического происхождения;
- волны на морской поверхности;
- тепловой шум.

Спектры шумов каждого из перечисленных источников характерны для определенных диапазонов частот и в целом перекрывают широкую полосу от единиц герц до нескольких тысяч килогерц. На рис. 1 представлены спектрально-энергетические характеристики шумов моря: 1, 2 – максимальные и минимальные уровни динамических шумов; 3 – шум при штиле, по Кнудсену; цифры в кружках – баллы скорости ветра – параметр спектров; 4, 5 – спектры последнего шума; 6 – спектры сейсмического фона; 7, 2 и 7, 10 – спектры псевдозвука; 8 – спектр шума извержения вулкана (усредненный); 9 – спектр шумов судоходства (область с – спектры шумов судоходных трасс); 10, 11 – спектры шумов рыб семейства горбылевых и креветок; 12 – спектр шума ливня; 13 – спектр тепловых шумов; а – частотная область сейсмического фона, взрывов, землетрясений и торошений льда; б – область турбулентных шумов; в – область действия поверхностных волн; г – область технических шумов; д – область шумов кавитации и дождя; е – область тепловых шумов; ж – область биологических шумов [1].

При анализе и моделировании гидроакустических помех в районе залива Бакбо будем рассматривать только те источники, которые вносят вклад в интегральное значение помех в пределах диапазона частот, характерного для работы гидроакустических средств обеспечения безопасности морской экономической деятельности (500 Гц...5 кГц). Кроме того, при проведении анализа будем учитывать, что гидроакустические средства обеспечения безопасности морской экономической деятельности функционируют непрерывно, т. е. анализ предполагает оценку изменчивости спектральных и интегральных характеристик шумов моря в течение года.

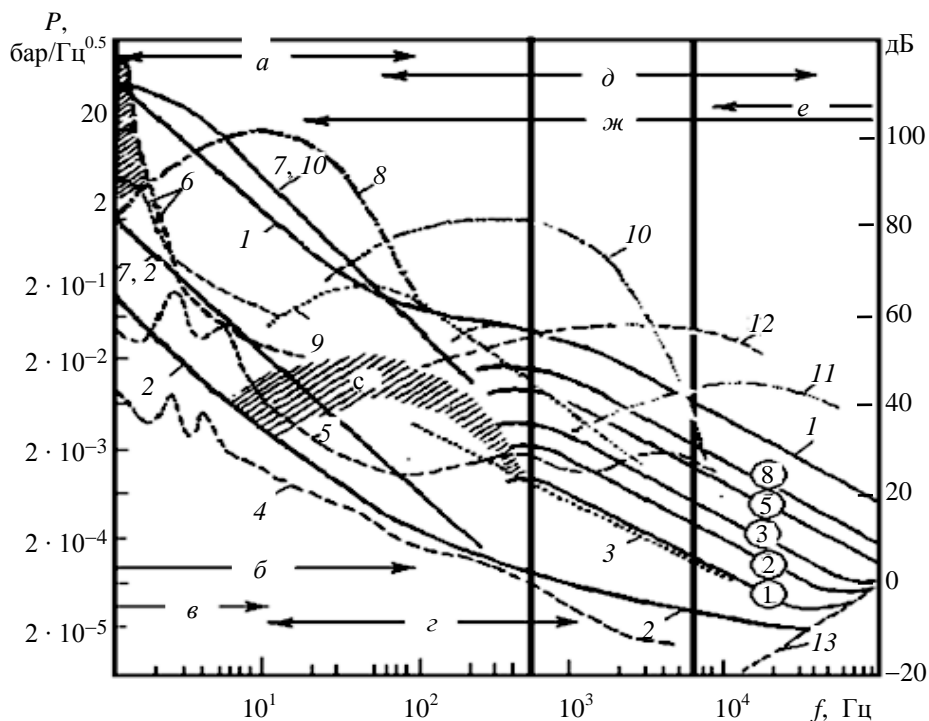


Рис. 1

С учетом указанных замечаний, анализ спектров шумов моря в диапазоне работы гидроакустических средств обеспечения безопасности морской экономической деятельности позволяет сделать следующие выводы:

1. Основными источниками помех работе гидроакустической системы (ГАС) в районе залива Бакбо являются динамические шумы, обусловленные ветровым волнением (на рис. 1 ограничены областью между кривыми 1 и 2), шумы биологического происхождения (кривая 10 – спектр шумов рыб семейства горбылевых, 11 – спектр шумов креветок), ливневые дожди (кривая 12) и шумы судоходства (кривая 9).

2. Сезонные изменения шумов моря будут определяться изменением ветрового волнения и шумами ливневых дождей, возникающих под воздействием муссонов и тропических циклонов¹.

3. Шумы дальнего судоходства в диапазоне работы ГАС будут оказывать определенное влияние на характеристики суммарных помех. Кроме того, движение судов по судоходным трассам, располагающимся в непосредственной близости от района возможного размещения ГАС, будет являться источником локальных помех, что, в свою очередь, определяет необходимость оценки (на качественном уровне) влияния проходящих судов на помеховую обстановку.

4. Шумы биологического происхождения носят локальный пространственный и временной характер. По этой причине их целесообразно учитывать только в динамике непосредственного функционирования ГАС. В процессе анализа этот вид шумов не учитывается.

5. В регионе отсутствует ледовый покров, поэтому подледные шумы (кривые 4 и 5) при расчетах интегральных значений помех, обусловленных шумами моря, не учитываются. Другие источники шумов (тепловой шум, сейсмический шум, ...) мало влияют на общую картину помех в диапазоне частот работы гидроакустической системы. Поэтому уровнем этих шумов можно пренебречь.

Таким образом, поле помех на входе акустической антенны ГАС в данной акватории представляет собой аддитивную смесь независимых компонентов: динамических шумов моря, а также шумов дальнего судоходства. Кроме того, следует ожидать наличия локальных помех в зоне обзора ГАС, источниками которых являются проходящие по судоходным трассам суда, а также шумы биологического происхождения.

В связи с тем, что гидроакустические средства обеспечения безопасности морской экономической деятельности функционируют непрерывно, необходимо иметь количественные характеристики, отражающие динамику изменения шумов в течение года. В качестве таких характеристик целесообразно выделить значение уровня:

- динамических шумов моря в зависимости от сезона (месяца);
- шумов, обусловленных ливневыми дождями в зависимости от сезона (месяца);
- шумов судоходства, не зависящее от сезона (месяца);
- суммарное значение уровня шумов моря в зависимости от сезона (месяца).

В качестве показателей, характеризующих уровни шумов, определим математическое ожидание и дисперсию суммарных шумов на входе антенны на частоте $1 \text{ кГц} \pm 1 \text{ Гц}$ в зависимости от сезона (месяца).

¹ Атлас по океанографии Южно-Китайского моря / И. Д. Ростов, В. В. Мороз, К. Т. Богданов и др. // Океанография и состояние морской среды Дальневосточного региона России (<http://pacificinfo.ru/data/cdrom/9/text.html#wind>).

Модель динамических шумов. Динамические шумы, обусловленные волнением моря, и шумы, обусловленные ливневыми дождями, зависят от сезонных муссонов и тайфунов, являющихся источниками ветрового волнения и дождей.

Ветры зимнего муссона обладают большой устойчивостью и силой, что благоприятствует развитию штормового волнения и зыби. Наибольшее по силе волнение наблюдается в северной части моря, наименьшее – в южной. Повторяемость волнения силой 5 баллов и более достигает 24 % в северной половине моря. В северной и северо-восточной частях Южно-Китайского моря свыше 10 % времени наблюдается сильная зыбь, около 50 % – умеренная и 40 % – слабая зыбь или отсутствие последней. В других районах моря сильная зыбь наблюдается значительно реже (5 %), умеренная – 25 % времени, а 70 % – слабая зыбь или штиль.

Ветры летнего муссона слабые и неустойчивые. В связи с этим сравнительно редко наблюдается сильная и умеренная зыбь (от 5 до 32 %). Даже в северной части моря свыше 60 % времени отмечается слабая зыбь или полное ее отсутствие.

При прохождении тайфунов высота волн также достигает значительной величины – порядка 7 м и более.

Расчеты спектральной плотности мощности шумов, обусловленных ветровым волнением, производились с использованием математического выражения

$$P_{д.ш}(f) = \frac{K \left(\frac{f}{f_0}\right)^m}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^{2m}}. \quad (1)$$

При этом коэффициент K , зависящий от волнения моря, выбирался в соответствии с табл. 1. Здесь $f_0 = 350$ Гц – частота, на которой спектральная плотность достигает максимального значения.

Таблица 1

Волнение моря, баллы	3	4	6	8
K	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$3.6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
m	1.253	1.136	1.01	0.824

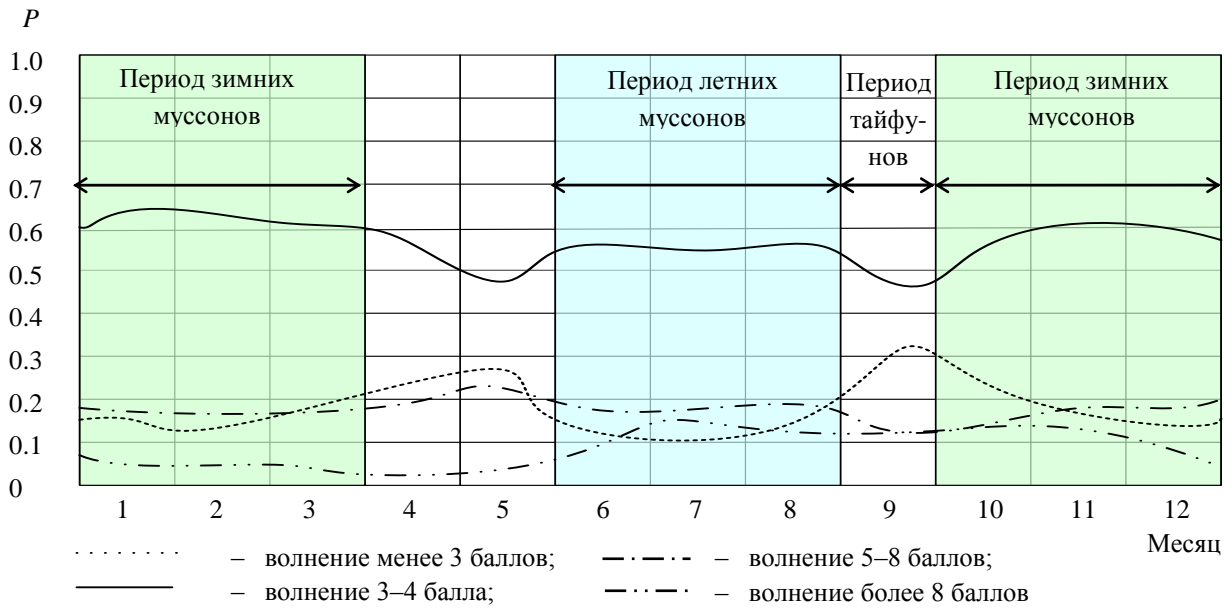
В табл. 2 приведены результаты расчетов уровней динамических шумов моря на входе антенны на частоте $1 \text{ кГц} \pm 1 \text{ Гц}$ в зависимости от степени волнения.

Таблица 2

Степень волнения моря, баллы	< 3	3–4	5–8	>8
$P_{д.ш}, \text{Па/Гц}^{1/2}$	0.0014	0.0021	0.0051	0.007

С учетом приведенных характеристик природных явлений и математического выражения (1), построены графики (рис. 2, *a* – вероятность наблюдения различных волнений и *b* – среднее значение давления суммарных шумов), характеризующие сезонные изменения волнения моря и соответствующие этим изменениям значения средних значений уровней акустических помех работе ГАС.

Представление (1), удобное для проведения численных расчетов и оценок дальности действия ГАС в условии мелкого моря, как это показано в [5], не позволяет обеспечить имитационное моделирование, в рамках которого необходимо описать временные процессы на элементарных каналах антенны с учетом корреляционных связей и спектров, составляющих поля помех и угла прихода полезного плосковолнового сигнала.



а

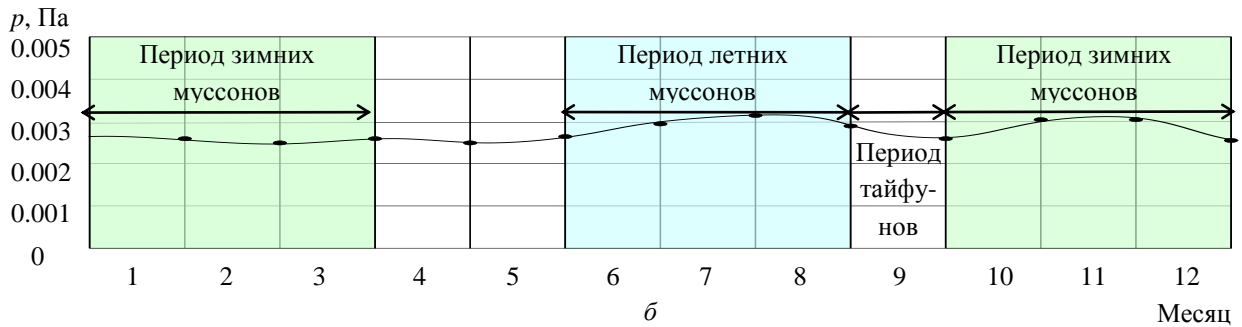


Рис. 2

В ходе выполнения исследований в рамках данной работы был предложен метод формирования временного процесса с заданным спектром, удобный для реализации в среде программы MatLab, который может быть описан следующим образом:

1. Формируется последовательность мгновенных спектров, каждый из которых представляет собой произведение $S_i(f) = A_i(f) \cdot z_i$, где $A_i(f)$ – спектр составляющей поля помех, полученный при помощи выражения (1); z_i – случайный процесс с нулевым средним, описываемый функцией пакета MatLab $rand(1:N)$, где N – количество спектральных отчетов.

2. Полученная последовательность мгновенных спектров преобразовывается во временной процесс при помощи оператора обратного быстрого преобразования Фурье (БПФ) ($ifft(S_i(f))$), в результате чего имеем временной процесс с заданным спектром, отвечающим конкретной составляющей поля помех, из описанных ранее.

3. Для имитационного моделирования в качестве входного воздействия для каждого элементарного канала антенны используется сумма различных составляющих поля помех, полученных по описанному ранее подходу, плосковолнового сигнала с фазой, отвечающей величине фазового набега для конкретного элемента антенной решетки, с амплитудами, отвечающими необходимому входному отношению сигнал/помеха.

На рис. 3, *a* (представление в спектральной области последовательности мгновенных спектров) в качестве примера показаны заданные описанным ранее способом динамические шумы для волнения моря 3 балла в спектральной области в заданном частотном диапазоне в условиях мелкого моря. На рис. 3, *б* (представление во временной области при помощи обратного БПФ) показан полученный после обратного преобразования БПФ временной процесс. Для проверки правильности выбранного подхода к моделированию на рис. 3, *в* (результат преобразования Фурье временного процесса) изображен осредненный по нескольким выборкам спектр временного процесса (рис. 3, *б*). Отметим, что для получения удовлетворительного результата на этапе обратного преобразования БПФ для получения временного процесса необходимо ввести временное перекрытие.

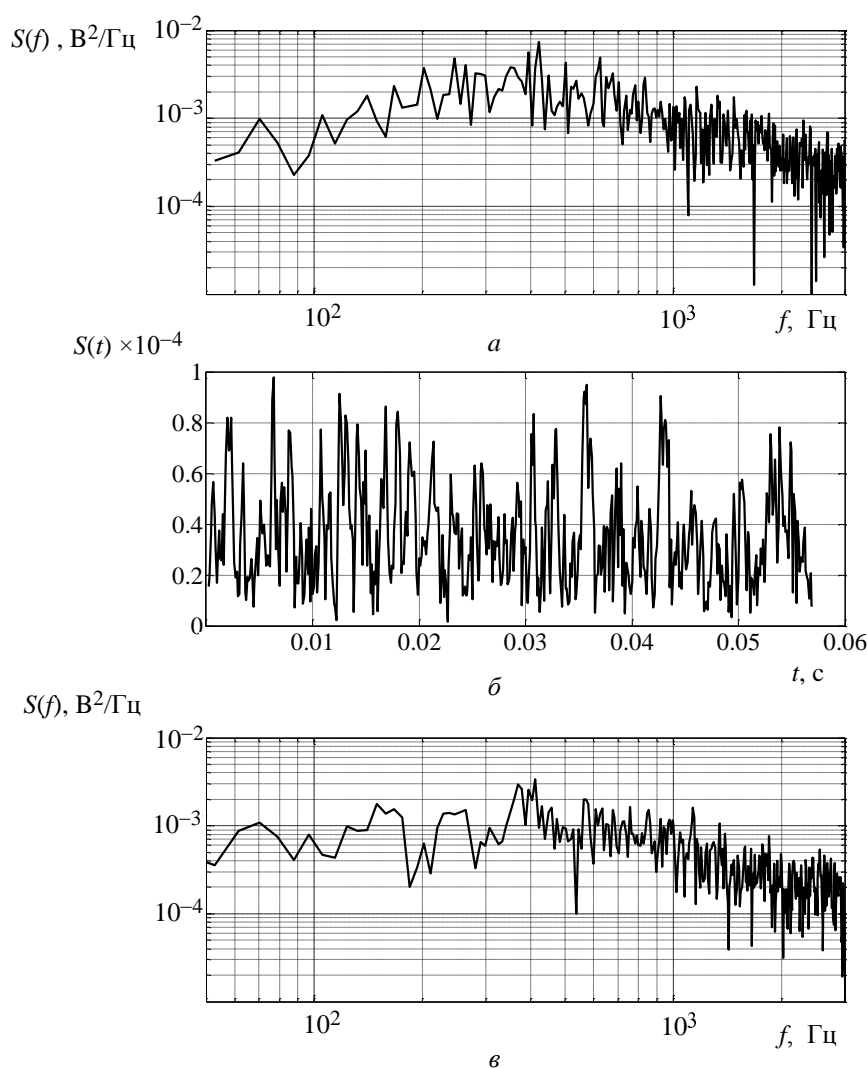


Рис. 3

Модель шумов судоходства. На международной транспортной карте все воздушные трассы и крупные международные морские трассы между Тихим и Индийским океанами проходят через Южно-Китайское море. Суда, следующие из портов Вьетнама, Китая, Японии и России к Сингапурскому проливу и в обратном направлении в Южно-Китайское море, придерживаются так называемого Главного морского пути, связывающего Азию (в том числе Китай и Россию) с Австралией и Африкой. Этот путь считается одним из самых оживленных международных транспортных маршрутов в мире. Пять из десяти наиболее

распространенных морских путей в мире связаны с Южно-Китайским морем. Транспортная загруженность по этому маршруту очень велика. Более 50 % импорта и экспорта товаров Китая, 80 % импорта сырой нефти Японии, Южной Кореи, Китая и Тайваня перемещаются через Южно-Китайское море².

Расчет и оценка спектральных характеристик шумов судоходства различной интенсивности в данном районе произведены в соответствии с выражением

$$P_{\text{сд}}(f) = \frac{Q \left(\frac{f}{f_0} \right)^n}{1 + \left(\frac{f}{f_0} \right)^{2n}}.$$

Полученный результат хорошо совпадает с приведенным графиком. Коэффициенты Q и n , зависящие от интенсивности судоходства, выбраны в соответствии с табл. 3. Здесь $f_0 = 55$ Гц – частота, на которой спектральная плотность достигает максимального значения.

Таблица 3

Интенсивность судоходства	Плотная	Развитая	Умеренная	Слабая
Q	$12 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-3}$
n	1.61	1.525	1.209	1.49

На рис. 4 показано представление плотности интенсивности шумов судоходства в спектральной и во временной областях, полученное по описанной ранее методике (a – представление в спектральной области как последовательности мгновенных спектров; b – представление во временной области при помощи обратного БПФ; v – результат преобразования Фурье временного процесса).

Анализ судоходства в регионе, в частности близости судоходных трасс и мест якорных стоянок судов к возможному району установки ГАС, а также количественного и качественного состава судов, действующих на судоходных трассах³, позволяет сделать вывод о том, что шумовое поле, обусловленное судоходством, будет иметь анизотропную по направлению пространственную структуру.

На рис. 5 (судоходство в районе залива Бакбо) приведено типовое распределение судов в районе залива Бакбо. С учетом этого, относительно предполагаемого места установки ГАС, можно выделить четыре сектора ($A-D$) различной интенсивности мешающего судоходства. В секторе A наиболее вероятным является плотное судоходство, в секторе B – умеренное, в секторах C и D – слабое.

Интенсивность судоходства в регионе не зависит от сезона, поэтому и уровень шумов дальнего судоходства в пределах каждого сектора будет иметь постоянное значение. В секторе A оценочные значения уровня шумов дальнего судоходства будут $1.12 \cdot 10^{-3}$ Па, в секторе B – $8 \cdot 10^{-4}$ Па, в секторе C – $3 \cdot 10^{-4}$ Па, в секторе D – $1.4 \cdot 10^{-4}$ Па на частоте $1 \text{ кГц} \pm 1 \text{ Гц}$.

² Чан Чьюнг Тхюн. Территориальные конфликты в Южно-Китайском море (<http://vnsea.net/tabid/149/ArticleID/489/language/en-US/Default.aspx>).

³ Карта судов (в районе Восточного моря) (<http://www.marinetraffic.com/ais/>).

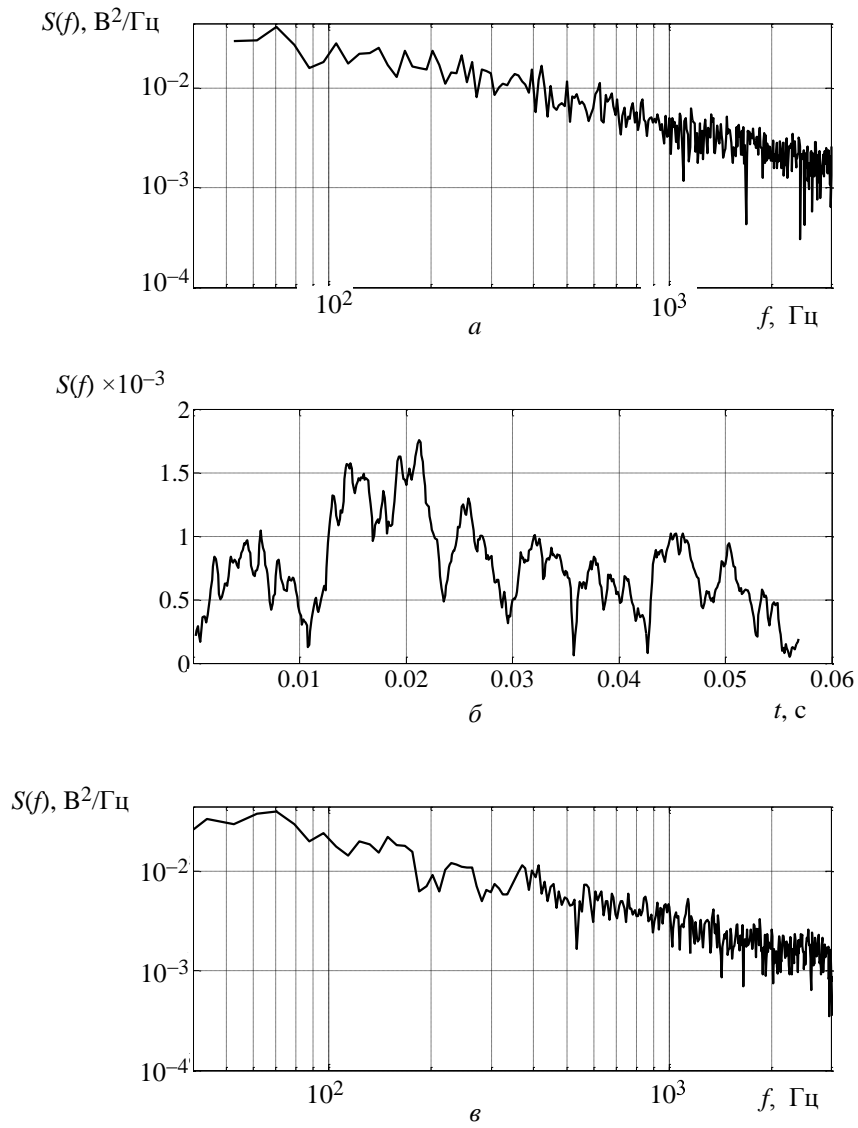


Рис. 4

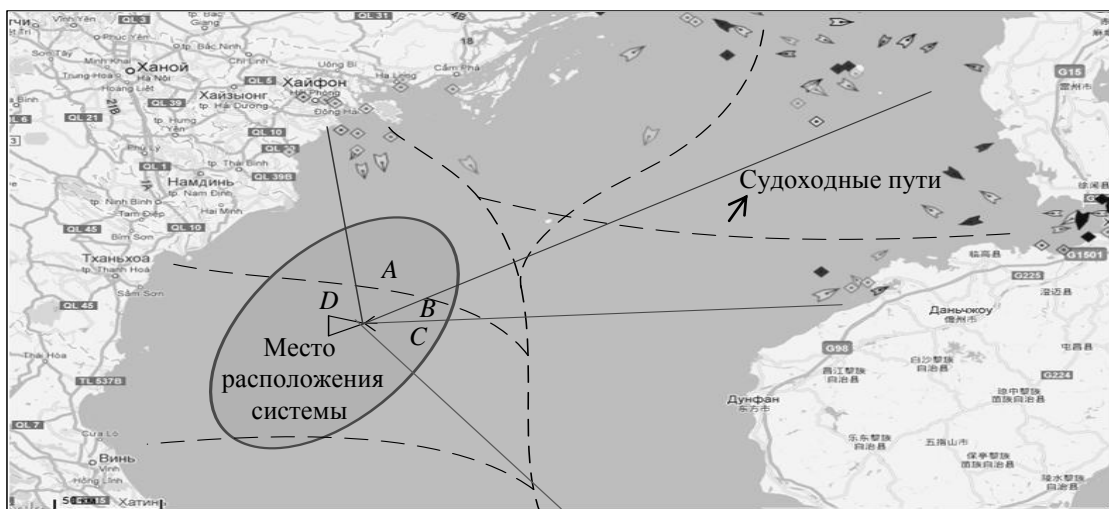


Рис. 5

Значительное влияние на помеховую обстановку, как ожидается, будут оказывать суда, находящиеся в зоне наблюдения ГАС и являющиеся источниками локальных помех. Основными типами судов – источников локальных помех следует ожидать:

- танкеры – 25–30 %;
- грузовые суда – 65–75 %;
- рыболовные суда – 6–8 %;
- прочие суда (буксиры, яхты, лоцманские суда) – 2–4 %.

С учетом ожидаемой дальности обнаружения ГАС следует ожидать:

- в зоне, соответствующей углу A , – постоянное нахождение 1–3 источников локальных помех одновременно;
- в зоне, соответствующей углу B , – постоянное нахождение 1–2 источников локальных помех одновременно;
- в зоне, соответствующей углу C , – эпизодическое (2–3 раза в сутки) нахождение одного источника локальных помех;
- в остальной зоне D – эпизодическое (1–2 раза в сутки) нахождение одного источника локальных помех.

Анализ и моделирование гидроакустических помех в районе залива Бакбо позволяет сделать следующие выводы:

- в выбранном диапазоне частот шумовое поле помех будет иметь постоянную и переменную во времени (в зависимости от сезона) составляющие. Источниками постоянной составляющей являются шумы биологического происхождения и шумы судоходства. Сезонные изменения шумов моря будут определяться изменением ветрового волнения и шумами ливневых дождей, возникающих под воздействием муссонов и тропических циклонов;
- поле помех будет иметь анизотропный по направлению характер, определяемый различным по интенсивности в различных направлениях уровням шумов судоходства;
- следует ожидать, что на процесс функционирования гидроакустических средств будут оказывать влияние мешающие источники – суда, постоянно находящиеся в зоне обзора средств, а также объекты биологического происхождения.

Изменчивость во времени и в пространстве поля помех в акватории, а также наличие мешающих целей определяют необходимость применения в постоянно функционирующих гидроакустических средствах алгоритмов, обеспечивающих адаптацию к изменяющейся во времени и в пространстве помеховой обстановке.

В статье предложен подход к формированию поля входных воздействий для многоканальной антенной решетки, позволяющий описывать входные воздействия на элементарных каналах гидроакустической антенны как смесь плосковолнового полезного сигнала и различных составляющих поля помех как случайных процессов с заданным спектром, что удобно для ряда задач имитационного моделирования при отработке и оценке эффективности алгоритмов обработки гидроакустической информации для режима шумопеленгования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарайский В. А. Акустика океана / Военно-морская академия. М, 2003.
2. Фурдуев А. В. Шумы океана // Акустика океана. М.: Наука, 1974. С. 617–691.
3. Сташкевич А. П. Акустика моря. Л.: Судостроение, 1966.
4. Дьюган Дж. П. Океанология в подводной акустике // Акустика океана. М.: Мир, 1982. С. 210–250.

5. Ермолаев В. И., Селезнев И. А., Буй Чьонг Занг. Анализ гидролого-акустических характеристик и расчет звукового поля в Северном регионе Восточного моря Вьетнама // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 10. С. 83–91.

Bui Truong Giang

ANALYSIS AND MODELING OF HYDROACOUSTIC NOISES IN THE REGION OF BEIBU GULF

In this article the situation of noises in the region of Beibu Gulf is considered. The choice of model describing these noises is carried out and on its basis the quantitative estimation of noise levels on input of an acoustic antenna for various seasons of the year is made.

Beibu Gulf, modeling, hydroacoustic noises, dynamic noises, ship noises, hydroacoustic system, acoustic field

УДК 620.179

П. В. Пашков, Г. А. Петров, Т. В. Самойлова

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО- АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Надежность является одним из основных показателей, характеризующих качество MLCC-конденсаторов. Наличие технологических дефектов в исходных материалах, возникновение дефектов при сборке и монтаже элементов с различными физическими, химическими и механическими характеристиками приводит к снижению надежности компонентов и ухудшению их технических характеристик. Для обеспечения высокопроизводительного и достоверного контроля MLCC-конденсаторов в условиях поточного производства, специалистами компании «Nordinkraft» была предложена методика контроля, основанная на использовании электромагнитно-акустических преобразователей.

MLCC, керамические конденсаторы поверхностного монтажа, резонансный метод контроля, электромагнитно-акустический преобразователь

В настоящее время практически всё, что окружает человека, связано с электроникой и электронными компонентами: начиная от мобильного телефона, фена, электрочайника и заканчивая высокоточным медицинским диагностическим оборудованием и аэрокосмическими аппаратами.

Конденсатор, наряду с резистором и катушками индуктивности, является одним из наиболее распространенных электронных элементов, формирующих основу любой радиоэлектронной схемы. Количество конденсаторов в современной микросхеме может достигать нескольких сотен тысяч. Крупнейшие мировые компании выпускают свыше 14.5 млрд конденсаторов ежемесячно, более 80 % из которых составляют многослойные керамические конденсаторы поверхностного монтажа (MLCC)¹.

Надежность является одним из основных показателей, характеризующих качество компонентов MLCC. Наличие технологических дефектов в исходных материалах, возникновение дефектов при сборке и монтаже элементов с различными физическими, химическими и механическими характеристиками приводят к снижению надежности конденсаторов и ухудшению их технических характеристик. В современной электронной промышленности в связи с постоянным усложнением изделий и технологических процессов воз-

¹ См.: <http://www.murata.com/products/catalog/pdf/c02e.pdf>.