

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куценко Н.Н., Воронин А.В. Экологический мониторинг в статистически неоднородной водной среде. // Сборник трудов III Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов ДонНТУ. Украина, Донецк, 2007. – С.554–557.
2. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 432 с.

Куценко Николай Николаевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге

E-mail: kutsenkonn@mail.ru

347928, Россия, Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44, тел.: 8 (8634)-37-17-95

Воронин Василий Алексеевич

E-mail: vva_47@mail.ru

Kutsenko Nikolay Nikolaevich

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"

E-mail: kutsenkonn@mail.ru

44, Nekrasovsky, GSP 17A, Taganrog, 347928, Russia, Ph.: +7(8634) 37-17-95

Voronin Vasily Alekseevich

E-mail: vva_47@mail.ru

УДК 504.06:534.(204.1)

Б. А. Сальников, Е. Н. Сальникова

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОРЫВОВ ПОДВОДНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Целью работы является анализ взаимодействия акустических полей подсветки со случайно-анизотропными и локальными неоднородностями поля скорости звука в интересах создания оптимальной конфигурации гидроакустической системы раннего обнаружения порывов подводных магистральных трубопроводов на фоне природной стохастичности параметров водной среды. Приведены результаты численного эксперимента. Предложена конфигурация гидроакустической системы раннего обнаружения порывов.

Подводные магистральные трубопроводы; гидроакустическая система обнаружения порывов; стохастическое моделирование.

B.A. Salnikov, E.A. Salnikova

HYDROACOUSTIC SYSTEM OF EARLY DETECTION OF UNDERWATER MAIN PIPELINES' BREACHES

The research purpose is to analyze the interaction of lighting acoustic field with randomly anisotropic and sound field random local nonuniformities for developing an

optimal design of a hydroacoustic system of early detection of underwater main pipelines' breaches on the background of natural stochasticity of aqueous medium parameters. The results of a numerical experiment are given. The configuration of the hydroacoustic system of early detection breaches is supplemented.

Underwater main pipelines; hydroacoustic system of breaches detection; stochastic modeling.

Введение

В связи с истощением континентальных ресурсов поиск и освоение морских месторождений углеводородного сырья становится одной из наиболее динамично развивающихся отраслей Мировой экономики. Разработка морских месторождений предполагает строительство подводных магистральных трубопроводов (ПМТ), что представляет потенциальную опасность загрязнения акваторий и требует использования надежных систем контроля за их техническим состоянием в реальном масштабе времени. Традиционные средства дистанционного мониторинга с использованием аэрофотосъемки, космической фотографии и методы радиолокационного зондирования водной поверхности в районах прохождения ПМТ, не являются оптимальными по своей себестоимости и экологической безопасности. Наличие порывов определяется вышеперечисленными методами лишь по прошествии определенного времени, когда транспортируемый продукт появится на поверхности, а координаты аварии определяются местонахождением выхода объекта транспортировки (нефти или газа) на поверхность. Однако при наличии подводных и поверхностных течений координаты пятна на поверхности моря не совпадают с координатами порыва, а при аварии подводного газопровода пузыри газа из порыва могут и не достичь поверхности, рассеиваясь и растворяясь в морской среде. Использование буксируемых подводных аппаратов, гидролокаторов бокового обзора (ГБО), подводных телекамер, лазерных прозрачномеров для мониторинга технического состояния ПМТ не позволяет проводить постоянный контроль одновременно по всей его длине.

Наиболее оптимальной, с точки зрения экологической безопасности, может считаться такая система наблюдения, которая предполагает непрерывный контроль технического состояния ПМТ по всей его длине, а в случае аварии позволяла бы оперативно и достоверно обнаружить её координаты. Вышеперечисленные задачи может решить комплексная гидроакустическая система контроля, представляющая собой стационарную трассу акустического зондирования, расположенную вдоль ПМТ и мобильный гидролокатор бокового обзора, размещаемого на любом обеспечивающем судне, с помощью которого можно уточнить координаты аварии [1].

Такая система может обеспечить непрерывный контроль за техническим состоянием ПМТ, при этом факт порыва однозначно определяется в режиме реального времени сразу же при возникновении аварии, а не тогда, когда объект транспортировки появится на поверхности моря. Чувствительность метода не зависит от уровня отражательной способности и оптических свойств жидких или газообразных объектов транспортировки и времени жизни газовых пузырей, выходящих из поврежденного продуктопровода. Кроме того, обеспечивается возможность контроля протяженных (до нескольких сот километров) участков трубопровода при минимуме используемых технических сил и финансовых средств.

Стационарная акустическая трасса зондирующего излучения реализует обнаружение локального изменения скорости звука, вызванного утечкой продуктов

перекачки, методом гидролокации на просвет. В отличие от классических методов гидролокации, используемых в ГБО и основанных на переотражении части энергии зондирующих сигналов в обратном направлении, в данном методе обнаружения используется информация о волнах, рассеянных локальной неоднородностью скорости звука в прямом направлении, которые, накладываясь на проходящую прямую волну, искажают распределение акустического поля по трассе распространения зондирующего излучения, что и фиксируется на приемной части диагностирующей системы.

В основе предлагаемого метода обнаружения порывов ПМТ лежат следующие апробированные теорией и практикой положения. Наличие значительных объемов систематизированной океанологической информации, в том числе содержащейся в специализированных банках данных, результаты исследований и обобщения многолетних натуральных гидроакустических наблюдений применительно к конкретным районам Мирового океана указывают на наличие районированной фоновой структуры гидрофизических параметров (соленость, плотность, температура) и поля скорости звука, носящей четко выраженный пространственно-временной характер. В географических границах одного района происходит плавное изменение статистической фоновой структуры гидрофизических параметров от одного сезона к другому. Иными словами конкретная акватория характеризуется вполне определенным сезонным океанологическим климатом. Естественные локальные скачкообразные изменения фоновой структуры водной среды могут наблюдаться вблизи фронтальных зон и границ двух разнородных течений. Вдали от фронтальных зон локальное скачкообразное изменение фоновой структуры может иметь лишь техногенный характер. Объекты транспортировки, при наличии порыва ПМТ, локально разрушают фоновую структуру гидрофизических параметров (плотность, соленость, температуру), что приводит к локальному изменению детерминированной компоненты поля скорости звука. Область с техногенным нарушением фоновых гидрофизических характеристик изменяет траекторию зондирующих лучей за счет локального изменения вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ). Информативным признаком таких нарушений является искажение зональной структуры акустического поля подсветки.

Целью работы является анализ взаимодействия акустических полей подсветки со случайно-анизотропными и локальными неоднородностями поля скорости звука в интересах создания оптимальной конфигурации гидроакустической системы раннего обнаружения порывов ПМТ на фоне природной стохастичности параметров водной среды.

Математическая модель задачи. Исходные данные для моделирования

В настоящее время дистанционные методы подводного мониторинга, основанные на принципах гидролокации на просвет, не находят широкого применения в связи с недостаточной отработанностью методов дистанционных измерений, отсутствием глубоко разработанной теории и методов обработки и интерпретации получаемой информации, адаптированных к реальным гидролого-акустическим характеристикам среды. Отсутствие аналитических методов расчета звуковых полей для модели ВРСЗ, в которой учитывается анизотропная случайная компонента поля скорости звука, является серьезным препятствием для создания адекватных алгоритмов обнаружения малоотражающих объектов по данным дистанционного зондирования.

Методы расчёта акустических полей для слабо стратифицированной (изотропной) среды, в принципе, не позволяют отделить тонкие эффекты, обусловлен-

ные стохастичностью, от эффектов, обусловленных структурой «опорной» скорости звука.

Действительно, распределение скорости звука в вертикальной плоскости реальных волноводах можно представить в виде

$$C(x,z)=C_{\text{оп}}(x,z)+\Delta C^{\approx}(x,z)+\Delta C^{-}(x,z), \quad (1)$$

где $C(x,z)$ – истинное распределение скорости звука; $C_{\text{оп}}(x,z)$ – опорное (усредненное) распределение скорости звука, измеренное в результате гидрологической съемки акватории или полученное на основании исторического массива гидрологической базы данных - ВРСЗ; $\Delta C^{\approx}(x,z)$ – случайная компонента скорости звука, не поддающаяся измерению контактными методами; $\Delta C^{-}(x,z)$ – детерминированная компонента, в которую входят погрешности измерения $C_{\text{оп}}(x,z)$ и локальные нарушения ВРСЗ, вызванные природными (внутритермоклинные линзы) или техногенными факторами.

В существующих математических моделях, прогнозирующих распределение акустических полей в волноводах, используется значение $C_{\text{оп}}(r,z)$, а второе слагаемое трактуется, как белый шум или регулярная составляющая, вызванная внутренними волнами. И в дальнейшем для описания случайных полей применяется хорошо разработанный математический аппарат статистической радиофизики [2]. Однако такой подход в акустике океана полностью себя не оправдывает, хотя дает качественное описание механизмов формирования акустических полей в реальных условиях эксперимента.

В основу большинства аналитических методов расчета звуковых полей в случайно-неоднородном океане положено параболическое приближение волнового уравнения [3,4]. Однако при использовании параболического приближения не выполняется закон Снеллиуса, хотя именно на его основе были объяснены основные закономерности влияния анизотропной случайной компоненты скорости звука на зональную структуру акустических полей в реальном океане [5-7].

Альтернативой аналитическим методам решения стохастического волнового уравнения для прогнозирования и изучения основных закономерностей распространения звука в случайно-анизотропных рефракционных волноводах является исследование зональной структуры акустических полей на основе численного решения уравнения лучевых траекторий в переменном поле скорости звука, полученное непосредственно из принципа Ферма. Такой подход позволяет с единых позиций оценить искажения структуры акустических полей при любых режимах стохастичности гидрологии (слабых, сильных и насыщенных флуктуациях поля скорости звука) [8]. Для стохастического моделирования используется уравнение лучевых траекторий в переменном поле скорости звука, полученное из принципа Ферма

$$C(x,z) \frac{d^2 z}{dx^2} - \left(1 + \left(\frac{dz}{dx} \right)^2 \right) \left(\frac{dz}{dx} \frac{\partial C(x,z)}{\partial x} - \frac{\partial C(x,z)}{\partial z} \right) = 0. \quad (2)$$

Общая модель поля скорости звука описывается выражением (1). Для моделирования стохастичности среды использовался метод Монте-Карло. Возможность многократного проведения численного эксперимента со случайно варьируемыми параметрами среды позволяет накапливать статистические выборки результатов, находить средние численные характеристики структуры акустического поля и получать представление о том, какие информативные признаки в структуре поля в среднем наиболее чувствительны к величине $\Delta C^{\approx}(x,z)$.

Анизотропная стохастичность параметров водной среды моделируется путём учёта случайной компоненты скорости звука. Модельный полигон разбит на пря-

моугольные ячейки, в центр которых генератором случайных чисел распределяются максимальные значения $\Delta C^{\sim}(x,z)$, не превышающие наперёд заданное. Присвоенное значение $\Delta C^{\sim}(x,z)$ снижается до нуля к границе ячейки.

Метод усреднения по лучам соответствует физической модели, при которой возмущённые траектории слегка отклоняются относительно детерминированного луча. При усреднении ансамбля реализаций по углу выхода случайные траектории заполняют некоторую лучевую трубку, окружающую невозмущённый луч. При слабых флуктуациях лучевые трубки не перекрываются [3]. Однако такая модель обработки численных экспериментов не позволяет объяснить засветку зон тени в режиме сильных флуктуаций, т.к. при увеличении $\Delta C^{\sim}(x,z)$ область глубин прихода лучей сужается. Хотя при малых флуктуациях скорости звука результаты усреднения по лучам и по пространству практически совпадают.

Появление мощных компьютеров позволило моделировать динамику лучей в реальных моделях случайно-неоднородных подводных волонородах (СНПВ). Расчёты показали, что даже при слабых флуктуациях поля скорости звука в пространстве не существует пучков лучей с близкими траекториями, объединёнными в одну лучевую трубку (см. [9, С.52] и приведённую в работе библиографию). В этой связи можно утверждать, что модель лучевых трубок не соответствует реальной физической модели распространения звука в СНПВ.

Метод усреднения «по пространству» заключается в усреднении результатов моделирования по дискретным интервалам глубин прихода. В этом случае требование непересечения лучевых трубок является излишним. Такой подход позволяет оценить распределение структуры звукового поля при любом уровне стохастичности и в рамках единой математической модели выявить основные закономерности влияния случайной компоненты скорости звука на зональную структуру поля в СНПВ.

Дискретные по дальности x вертикальные разрезы акустического поля (ВРАП) $A(n,x)$ адекватно описывают его зональную структуру:

$$A(n,x) = \frac{L_n(x)}{L \cdot m}, \quad (3)$$

где $L_n(x)$ – количество лучей, пришедших в n -ый интервал глубины вертикального разреза, расположенного на расстоянии x от источника за m экспериментов; L – число лучей, вышедших из источника за один эксперимент; m – число проведённых экспериментов. Данная нормировка является одной из модификаций метода согласованного поля, при этом

$$\sum_{n=1}^N A(n,x) = 1, \quad (4)$$

где $N = H/\Delta z$ количество эквидистантных дискретных отсчётов ВРАП по глубине z , H – глубина моря в месте расположения вертикального разреза, Δz – интервал усреднения акустического поля по глубине, $n = 1 \div N$ – номер дискретного отсчёта по глубине (дискретная координата глубины), $z = \Delta z \cdot n$ – текущая координата глубины. В данном случае дискретную функцию $A(n,x)$ можно трактовать как распределение вероятности глубин прихода лучевых траекторий при фиксированной дальности x .

Предложенный алгоритм обработки результатов стохастического моделирования является развитием методов расчета акустических полей на основе построения подробной лучевой картины без вычисления амплитуды звукового поля на луче [10].

В нашем случае процедура вычисления усредненного поля вертикального разреза на фиксированной дальности x в дискретных отсчетах глубины n сводится к простому суммированию лучей, пересекающих n -й интервал глубины Δz , без вычисления их фактора фокусировки. Такой подход, в отличие от классического лучевого метода, позволяет корректно вычислить усредненное поле в точках заворота лучей и на каустиках.

Исходные данные для численного моделирования выбраны следующие. Длина полигона – 120км; глубина – 2000м; ось подводного звукового канала расположена на глубине 1000м, а источник излучения – на глубине 300 метров, дискретность выхода лучевых траекторий равна 0,1 градуса; полигон разбит на ячейки с размерами 25м по глубине и 500 м по дальности; случайная компонента поля скорости звука $\Delta C^{\sim}(x,z)$ дискретно изменялась от 0,05 до 5,0 м/с. Для каждого значения $\Delta C^{\sim}(x,z)$ было проведено по 1000 экспериментов. Угол раскрытия источника соответствовал режиму однолучевого приёма для детерминированного ВРСЗ на вертикальных разрезах от 20 до 120 км с дискретностью 1 км, за исключением дальностей в районе заворота лучей (верхние зоны конвергенции (ВЗК) и нижние зоны конвергенции (НЗК)). Интервал усреднения поля по глубине $z = \Delta z \cdot n$, $\Delta z=50$ м, $n = 1 \div N=40$.

На рис. 1 представлена ЗСАП для детерминированного модельного ВРСЗ, на рис. 2 – ЗСАП со случайной компонентой поля скорости звука $\Delta C^{\sim}(x,z)=0,15$ м/с, количество экспериментов – 4.

Исходные данные для численного моделирования порыва ПМТ следующие. Параметры порыва: дальность от излучателя поля подсветки 40 км, случайная компонента поля скорости звука $\Delta C^{\sim}(x,z)=0,15$ м/с, детерминированная поправка, моделирующая порыв $\Delta C^{\sim}(x,z)= - 200$ м/с, так как скорость звука в нефти $C_{нефти} = 1300$ м/с [11], в месте порыва скорость звука 1300 м/с, моделирующая порыв поправка равномерно убывает до нуля к поверхности моря, ширина пятна – 1000м на поверхности, т.е. порыв моделируется перевёрнутым треугольником с вершиной в точке порыва.

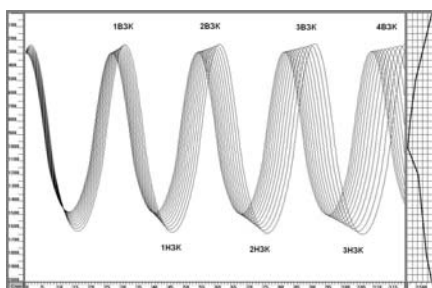


Рис. 1. Зональная структура акустического поля для детерминированного модельного ВРСЗ

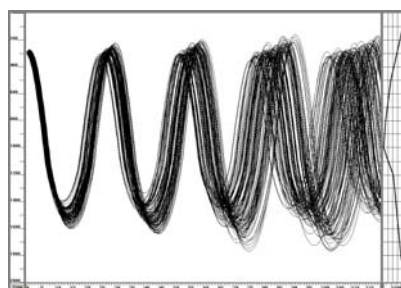


Рис. 2. Зональная структура акустического поля для модельного ВРСЗ со случайной компонентой поля скорости звука

Результаты численного эксперимента

Единственной характеристикой ЗСАП, которая остаётся устойчивой при увеличении случайной компоненты поля скорости звука, являются координаты по

дальности экстремумов функции нормы ВРАП. Норма функции ВРАП на вертикальных разрезах определяется по формуле

$$\text{Norm}[A(n, x)] = \|A(x)\| = \left[\sum_{n=1}^N A^2(n, x) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

и имеет вид периодической функции. Норма функции ВРАП пропорциональна мощности огибающей сигнала, снимаемого с дискретных по дальности приёмных эквидистантных вертикальных антенных решёток. Эта характеристика позволяет формализовать описание ЗСАП в случайно-неоднородных подводных волноводах. А именно, точно определять координаты по дальности центров зон конвергенции и границ между нижними и верхними зонами конвергенции (см. рис. 1).

Координаты максимумов нормы функции ВРАП соответствуют координатам центров нижних и верхних зон конвергенции, а координаты минимумов – границам между ними. На рис. 3 приведены зависимости изменения нормы функции ВРАП от дальности при различных значениях случайной компоненты поля скорости звука.

Из представленных результатов следует, что с увеличением случайной компоненты поля скорости звука нормы функции ВРАП уменьшаются во всём диапазоне дальностей, с увеличением дальности и случайной компоненты поля скорости звука происходит постепенное разрушение ЗСАП, сглаживаются зависимости нормы функции ВРАП от дальности. Результаты численного моделирования показали, что наибольшие искажения зональной структуры акустического поля происходят на дальностях, соответствующих координатам границ между верхними и нижними зонами конвергенции, наименьшие – на дальностях, соответствующих координатам центров зон конвергенции.

На рис. 4 приведены зависимости изменения нормы функции ВРАП от дальности при различных значениях случайной компоненты поля скорости звука и порыва ПМТ.

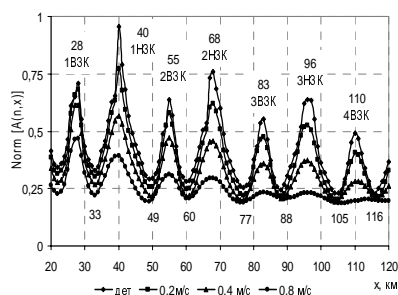


Рис. 3. Зависимость нормы функции ВРАП от дальности при различных уровнях случайной компоненты поля скорости звука. (Цифрами на рисунке обозначены координаты экстремумов нормы ВРАП)

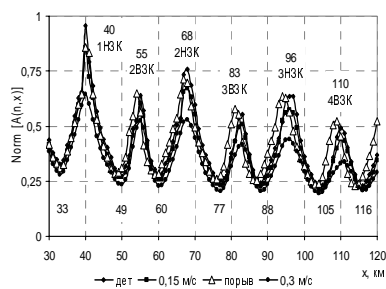


Рис. 4. Зависимость нормы функции ВРАП от дальности при различных уровнях случайной компоненты поля скорости звука и порыва ПМТ на дальности от источника подсветки 40 км при уровне случайной компоненты поля скорости звука 0,15 м/с

Общим информативным признаком наличия порыва ПМТ является смещение границ центра зон конвергенции в сторону уменьшения дальности. Порыв ПМТ увеличивает норму функции вертикальных разрезов акустического поля, форми-

руемых лучами, идущими от дна к поверхности и уменьшает норму функции вертикальных разрезов акустического поля, формируемых лучами, идущими от поверхности ко дну.

Одновременное увеличение и уменьшение нормы функции ВРАП в пределах одной зоны конвергенции не свойственно режиму изменения уровня природной стохастичности параметров водной среды. Это и является основным информативным признаком обнаружения порывов ПМТ на фоне изменяющейся природной стохастичности поля скорости звука.

Выводы

Приёмная система обнаружения порывов ПМТ на фоне изменяющейся природной стохастичности параметров водной среды должна состоять из ряда вертикальных эквидистантных антенных решеток, дискретно расположенных на расстояниях между центрами зон конвергенции и границами между верхними и нижними зонами конвергенции. Одновременное увеличение или уменьшение нормы функции ВРАП на приёмных антенных решетках в границах одной зоны конвергенции свидетельствует о увеличении или уменьшении уровня случайной компоненты поля скорости звука, увеличение и уменьшение нормы функции ВРАП в пределах одной зоны конвергенции является информативным признаком появления порыва ПМТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способ обнаружения порыва подводного трубопровода: пат. 2196931 Рос. Федерация: МПК F 17 D 5/06 / Сальников Б.А., Турмов Г.П., Алексейко Л.Н., Звонарёв М.И., Минапов С.А.; заявитель и патентообладатель Дальневосточный государственный технический университет. - № 2001102343/06; заявл. 25.01.2001; опубл. 20.01.2003, Бюл. № 2. - 9с.
2. Рытов С.М., Крайцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. Случайные поля. - М.: Наука, 1978. - 464с.
3. Распространение звука во флуктуирующем океане / Под ред. С. Флатте. - М.: Мир, 1982. - 336с.
4. Акустика океана / Под ред. Дж.Б. Де Санто. - М.: Мир, 1982. - 320с.
5. Гостев В.С., Носова Л.Н., Швачко Р.Ф. Исследования звукового поля взрывного сигнала в зонах геометрической тени глубокого океана // Акуст. журн. 1998. Т.44. №2. С.201-205.
6. Гостев В.С., Швачко Р.Ф. Способы расчета пространственно-временных и угловых характеристик звукового поля в зоне тени // Акуст. журн. 1998. Т.44. №2. С.274-277.
7. Гостев В.С., Швачко Р.Ф. Некоторые кинематические модели объемной предреверберации в глубоком океане // Акуст. журн. 1999. Т.45. №6. С.857-860.
8. Сальников Б.А., Сальникова Е.Н. Моделирование и исследование зональной структуры акустических полей в случайно-неоднородных подводных волноводах // Подводные исследования и робототехника / Научно-технический журнал ДВО РАН, Институт проблем морских технологий. Владивосток: Дальнаука, 2008. С.47-57.
9. Вировлянский А.Л. Лучевой хаос в задачах о дальнем распространении звука в океане // Доклады X научной школы- семинара акад. Л.М.Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XIV сессией Российского Акустического Общества. - М.: ГЕОС, 2004. С.51-56.

10. Пискарев А.Л. О расчете усредненных распределений интенсивности звуковых полей в океане // Акуст. журн. 1989. Т. XXXV. Вып. 4. С. 724-731.
11. Митрофанов О.Г., Озерницкий И.М. Расходомеры EESilo, два метода измерения расхода жидкости – одна пара накладных датчиков. Часть I / http://www.diaword.ru/Article_5.htm.

Сальников Борис Александрович

Департамент науки и инноваций Дальневосточного государственного технического университета

E-mail: salnikovb@mail.ru

690106, Россия, г. Владивосток, ул. Нерчинская, 27, кв.5, тел.: +7(9242)425100

Сальникова Евгения Николаевна

Институт радиоэлектроники, информатики и электротехники Дальневосточного государственного технического университета

E-mail: en_salnikova@mail.ru

690106, Россия, г. Владивосток, ул. Нерчинская, 27, кв. 5, тел.: +7(9147)235843

Salnikov Boris Aleksandrovich

The leading scientific worker of the Department of a science and innovations of the Far Eastern State Technical University

E-mail: salnikovb@mail.ru

Flet. 5, 27, Nerchinskay St., Vladivostok, 690106, Russia, ph.: +7(9242)425100

Salnikova Evgeniya Nikolaevna

Vice director of the Institute of Radioelektronics, Information Science and Electric Engineering of the Far Eastern State Technical University

E-mail: en_salnikova@mail.ru

Flet. 5, 27, Nerchinskay St., Vladivostok, 690106, Russia, ph.: +7(9147)235843

УДК 534.222.2

В. Ю. Волощенко

НЕЛИНЕЙНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Рассмотрена возможность расширения эксплуатационных возможностей «традиционных» средств кораблевождения и функционирование многочастотной импульсной доплеровской системы, которая позволяет увеличить точность измерения скорости судна как относительно дна, так и относительно воды по сигналам донной и объемной реверберации.

Нелинейная акустика; многочастотная импульсная доплеровская система; моностатический доплеровский измеритель скорости течений.

V.Y.Voloshchenko

THE NONLINEAR NAVIGATION SYSTEMS

The method of navigation system's upgrade and operation of the multifrequency impulse Doppler sonar system, which permit to increase of it's velocity measurement accuracy on the reverberation signals from sea bottom and moving water masses are considered.