

УДК 534.222.2

**В.Ю. Волощенко, Г.В. Куповых****МНОГОЧАСТОТНЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ЛАГ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
НАВИГАЦИИ АВТОНОМНЫХ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Рассмотрена структурная схема и физические принципы функционирования много-частотного корреляционного гидроакустического лага для обеспечения безопасной навигации судов в сложных условиях. Применение данного устройства позволяет увеличить точность как определения абсолютной и относительной скоростей судна, так и регистрации глубин водоемов на трассе следования, что достигается за счет выбора необходимой величины угловой разрешающей способности приемопередаточной антенны.*

*Нелинейная акустика; корреляционный гидроакустический лаг.*

**V.Y. Voloshchenko, G.V. Kupovykh****THE MULTIFREQUENCY CORRELATION LOG FOR VESSEL'S SAFETY  
NAVIGATION**

*The structural scheme of the multifrequency correlation log and its operation for providing of vessel's safety navigation are considered. The multifrequency correlation log's application enables to increase the accuracy its vessel velocity measurement and echo sounding bottom records by means of electroacoustic antenna's angular resolution variation.*

*Nonlinear acoustics; correlation acoustic log.*

Задачи исследования и освоения мелководного Арктического шельфа России могут быть решены при использовании автономных плавательных аппаратов (АПА), подводная навигация которых осложнена целым рядом специфических причин: 1) АПА работают в условиях, где невозможно использование радионавигационных средств и систем спутниковой навигации; 2) погрешность навигационных средств по определению места АПА по каждой из трех осей координат не должна превышать 0,3 м [1]. В данных условиях эксплуатация АПА невозможна без применения устройств, позволяющих косвенным образом определять как абсолютную, так и относительную скорость, например, при использовании корреляционной обработки флуктуирующих при движении судна амплитудных характеристик донных отраженных сигналов, регистрируемых размещенными на нем эхолотами. В настоящее время фирмой Consilium Marine разработано четвертое поколение корреляционных лагов серии SAL (Speed Automatic Log), в которых используются сложные конструкции интерференционных приемопередаточных антенн, состоящих из нескольких поршневых резонансных электроакустических преобразователей. Например, в лаге Consilium SAL R1a антенный блок TRU R1 выполнен в виде цилиндра диаметром 32 мм, высотой 160 мм и массой 3,7 кг, на нижнем торце которого расположены два пьезоэлемента с резонансными частотами 3,84 МГц и 4,196 МГц, в двухосевом докинг-лаге Consilium SAL T2, а также в комбинированных устройствах «лаг+эхолот» Consilium SAL T1 и Consilium SAL T3, антенный блок TRU (цилиндр диаметром 122 мм, высотой 144 мм и массой 23 кг) устроен сложнее: на нижнем торце цилиндра размещены семь пьезоэлементов – 5 с резонансной частотой 150 кГц для измерения абсолютной скорости судна в диапазоне регистрируемых глубин (0-250м) (3 – излучают, все пять – принимают), 2 с резонансной частотой 4 МГц для измерения относительной скорости на сигналах объемной реверберации при минимальной глубине 3м под килем [2].

Между тем, водная среда распространения обладает нелинейностью своих упругих свойств, что приводит к возникновению при распространении интенсивной ультразвуковой волны различных нелинейных эффектов, заключающихся в генерации в водной среде «новых» сигналов кратных частот. Нелинейные эффекты в акустическом поле можно рассматривать как результат изменения свойств среды в области распространения мощного зондирующего сигнала накачки с частотой  $f$ , что приводит к искажению формы профиля волны конечной амплитуды при ее распространении к рассеивающей донной поверхности, т.е. генерации высших гармонических составляющих с частотами  $2f, 3f, \dots, nf$ , где  $n = 2, 3, \dots$  – порядковый номер гармоники. Акустические поля сигналов высших гармоник обладают интересными пространственными характеристиками: на акустической оси антенны изменение свойств среды под действием мощной волны накачки с частотой  $f$  происходит в наибольшей степени, в связи с чем главный максимум излучения для каждой последующей гармоники уже (острее), а в направлениях дополнительных максимумов излучения на основной частоте  $f$  изменение свойств среды происходит в гораздо меньшей степени, что приводит к снижению эффективности генерации гармоник в этих направлениях, т.е. уровень бокового поля для каждой последующей гармоники меньше, чем у предыдущей. Эффективность использования существующих устройств активной локации с «традиционными» моночастотными приемоизлучающими антеннами можно повысить за счет приема и соответствующей обработки сигналов донной и объемной реверберации на кратных частотах – высших гармонических компонентах излученного сигнала основной частоты, формирующихся при его распространении в нелинейной водной среде (например, с частотами 300 кГц, 450 кГц и т.д.).

Известны результаты экспериментальных исследований пространственных характеристик акустических полей формирующихся сигналов кратных частот – основной частоты – и формирующихся высших гармоник, полученные для штатных режимов работы рыбопоисковой аппаратуры «Сарган» [3]. Конструкция приемоизлучающей интерференционной антенны оказалась настолько удачной и надежной, что в настоящее время с ее использованием фирмой «Симбия» (Россия) и компанией JMC (Япония) совместно разработаны современные рыбопоисковые эхолоты JMC V-138/Сарган и JMC V-1402/Сарган [4]. Антенна выполнена многоэлементной из двух наборов поршневых электроакустических преобразователей с резонансными частотами 19,7 и 135 кГц, что для каждой из частот дает возможность изменения ширины основного лепестка характеристики направленности за счет подключения как части (режим «Широкая ДН»), так и всех преобразователей (режим «Узкая ДН»). Итак, антенна «Сарган» в режиме «Широкая ДН» (рис. 1, а) имеет: на частоте  $f = 135$  кГц ширину основного лепестка ХН по уровню  $0,7 \theta_{0,7(f)} = 4,7^0$  и уровень бокового излучения  $P_{БП(f)} = (-15,5$  дБ); на частоте  $2f = 270$  кГц –  $\theta_{0,7(2f)} = 3,2^0$  и  $P_{БП(2f)} = (-20$  дБ); на частоте  $3f = 405$  кГц –  $\theta_{0,7(3f)} = 2,8^0$  и  $P_{БП(3f)} = (-50$  дБ), а в режиме «Узкая ДН» (рис. 1, б) имеет: на частоте  $f = 135$  кГц –  $\theta_{0,7(f)} = 2,1^0$  и  $P_{БП(f)} = (-9$  дБ); на частоте  $3f = 270$  кГц –  $\theta_{0,7(2f)} = 1,7^0$  и  $P_{БП(2f)} = (-16$  дБ); на частоте  $3f = 405$  кГц –  $\theta_{0,7(3f)} = 1,3^0$  и  $P_{БП(3f)} = (-33$  дБ).

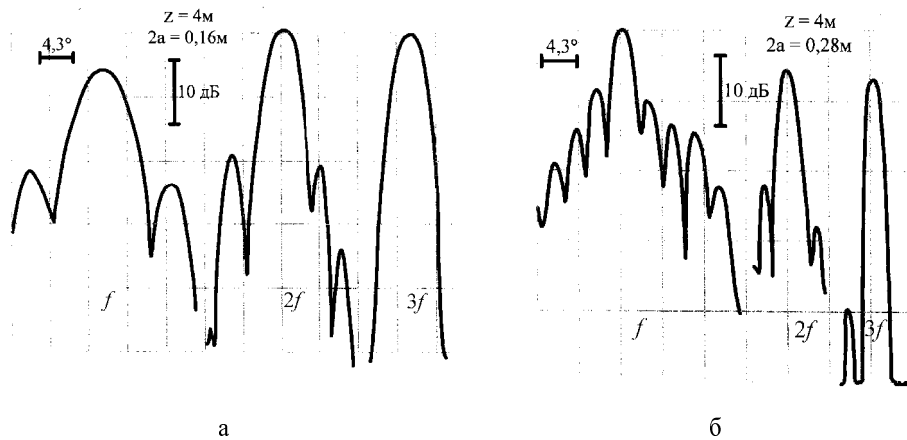


Рис. 1. Характеристики направленности антенны «Сарган» в режимах: а – «Широкая ДН»; б – «Узкая ДН»

При нормальном падении направленного пучка ультразвуковых волн формировать отраженный сигнал будет донная поверхность площадью  $S_{\Theta}$ , радиус которой

$$R_{\Theta} = H \cdot \operatorname{tg}(\Theta_{ГР}/2), \quad (1)$$

где  $H$  – глубина моря,  $\Theta_{ГР}$  – угловой размер отражающей площади дна. В случае акустически ровной поверхности дна формирование отраженного сигнала происходит в пределах площади, ограниченной первой зоной Френеля, радиус которой при нормальном облучении можно рассчитать

$$R_0 = \sqrt{\lambda \cdot H/2}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина волны зондирующего ультразвука [5]. Если поверхность дна неровная, то лишь зеркально отраженная компонента результирующего отраженного сигнала формируется площадкой, имеющей размеры порядка первой зоны Френеля, а рассеянная компонента формируется на неровностях, положение которых не ограничено этой областью. Внесение ясности в размер отражающей площади дна важно как при расчете величины эхосигнала от дна, так и при оценке отражающих свойств дна с помощью приемоизлучающей антенной системы, обладающей различной остротой направленного действия на разных частотах зондирующих акустических сигналов. Как известно [6], угловой размер  $\Theta_{ГР}$  отражающей площади дна равен половине угловой ширины индикатрисы рассеяния акустического сигнала дном моря. Это позволяет сделать вывод о том, что при использовании приемоизлучающей антенны, у которой ширина по уровню 0,7 основного лепестка характеристики направленности больше половины угловой ширины индикатрисы рассеяния ( $\theta_{0,7} > \Theta_{ГР}$ ), отражающие свойства дна не будут зависеть от ширины по уровню 0,7 основного лепестка ее характеристики направленности. В свою очередь, применение антенны, у которой ширина по уровню 0,7 основного лепестка характеристики направленности меньше половины угловой ширины индикатрисы рассеяния ( $\Theta_{ГР} > \theta_{0,7}$ ), обусловит то, что отражающие свойства дна будут зависеть от ее остроты направленно-

го действия. Таким образом, наличие большого числа неровностей в перемещающейся за счет движения судна донной зоне облучения обусловит то, что квадрат амплитуды эхосигнала будет содержать спектр частот, а огибающая эхосигнала будет флюктуировать хаотическим образом, причем при фиксированных значениях величин скорости судна, длины волны излучаемого ультразвукового сигнала и глубины моря максимальная частота флуктуаций  $f_{\text{фл.макс}}$  определяется самым большим расстоянием между неровностями, которое зависит от размеров отражающей площади дна [7]. Так, если ширина по уровню 0,7 основного лепестка характеристики направленности приемоизлучающей антенны  $\theta_{0,7}$  больше углового размера  $\Theta_{\text{ГР}}$  отражающей области дна ( $\theta_{0,7} > \Theta_{\text{ГР}}$ ), то

$$f_{\text{фл.макс}} = 4v \cdot \sin \Theta_{\text{ГР}} / \lambda. \quad (3)$$

Если же характеристика направленности приемно-излучающей антенны уже углового размера отражающей области дна ( $\theta_{0,7} < \Theta_{\text{ГР}}$ ), то

$$f_{\text{фл.макс}} = 4v \cdot \sin \theta_{0,7} / \lambda. \quad (4)$$

Таким образом, в первом случае спектр эхосигнала не зависит от ширины характеристики направленности и определяется характером рельефа дна, в то время как во втором спектр эхосигнала будет определяться именно шириной основного лепестка характеристики направленности приемоизлучающей антенны, но не будет зависеть от характера рельефа дна [7]. Данный вывод позволяет сделать заключение о том, что наличие многочастотной высоконаправленной приемоизлучающей антенны с регулируемой остротой направленного действия в корреляционном гидроакустическом лаге может позволить получить дополнительный объем уточненной первичной информации как о характеристиках движения судна-носителя, так и о регистрируемых глубинах водоемов по пути следования.

Многочастотный корреляционный гидроакустический лаг (рис. 2) функционально объединяет в себе две (нос и корма) эхолотовые системы (излучение, прием, отображение и регистрация информации), дополненные общими трактами: корреляционной обработки информации, измерения скорости судна и управления [8]. Работа многочастотного корреляционного гидроакустического лага происходит следующим образом.

Генератор 1 излучающего тракта эхолотных систем вырабатывает высокочастотный электрический сигнал  $U1$  с частотой  $f$ , поступающий на вход хронизатора-модулятора 2, приводящегося в рабочее состояние оператором по команде с блока управления 37, в результате чего на выходе хронизатора-модулятора получаем радиоимпульс  $U2$  с гармоническим ВЧ-заполнением. После усилителя мощности 3 радиоимпульс  $U3$  поступает через коммутаторы 4 и 5 в режиме «Передача» на приемоизлучающие антенны 6 и 7 (нос и корма соответственно), излучающие мощные зондирующие ультразвуковые сигналы в водную среду, обладающую нелинейностью своих упругих характеристик. Носовая 6 и кормовая 7 интерференционные антенны эхолотных систем размещены в диаметральной плоскости вдоль корпуса судна на расстоянии  $L$  и ориентированы акустическими осями вертикально вниз (рис. 2), причем их характеристики направленности должны иметь такую остроту направленного действия, чтобы основные лепестки и, соответственно, облучаемые области дна не перекрывались. При распространении в

среде, обладающей нелинейностью своих упругих характеристик, акустический сигнал конечной амплитуды по мере распространения испытывает накапливающиеся искажения профиля волны, что физически означает генерацию высших гармонических компонент  $2f, 3f, \dots, nf$  излученного сигнала с частотой  $f$ .

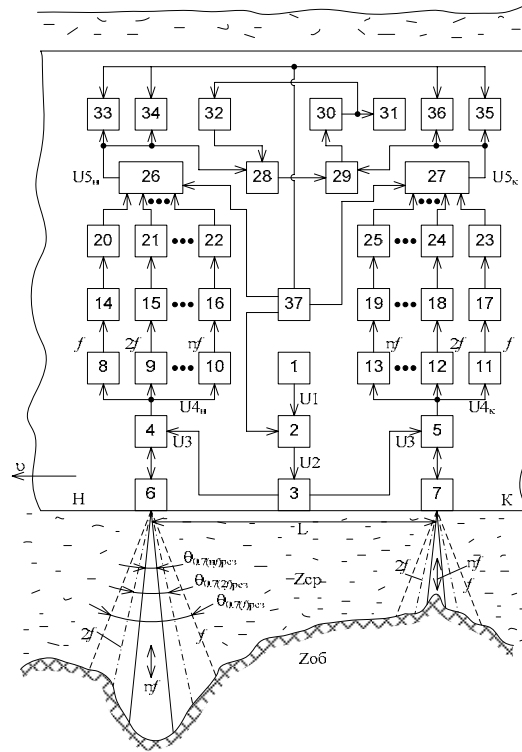


Рис. 2. Структурная схема корреляционного лага

Акустические поля сигналов высших гармоник обладают следующими пространственными характеристиками: на акустической оси антенны изменение свойств среды под действием мощной волны накачки с частотой  $f$  происходит в наибольшей степени, в связи с чем главный максимум излучения для каждой последующей гармоники уже (острее), а в направлениях дополнительных максимумов излучения на основной частоте  $f$  изменение свойств среды происходит в гораздо меньшей степени, что приводит к снижению эффективности генерации гармоник в этих направлениях, т.е. уровень бокового поля для каждой последующей гармоники меньше, чем у предыдущей. Полигармонический зондирующий ультразвуковой сигнал, содержащий спектральные составляющие с частотами  $f, 2f, 3f, \dots, nf$ , распространяется в среде лоцирования, имеющей акустическое сопротивление ( $Z_{CP} = \rho_{cp} c_{cp}$ ), где  $\rho_{cp}$  – плотность среды,  $c_{cp}$  – скорость звука в ней, достигает расположенных в среде подвижных (рассеиватели, формирующие сигнал объемной реверберации) и покоящихся (дно) относительно нее объектов с акустическим сопротивлением ( $Z_{OB} = \rho_{об} c_{об}$ )  $\neq (Z_{CP})$  и отражается от них. Амплитуды отраженных ультразвуковых волн, несущих информацию об объектах, определяются их рассеивающими (отражающими) свойствами, которые определя-

ются формой объектов, ракурсом облучения, волновыми размерами. Отраженные спектральные компоненты полигармонического ультразвукового сигнала в силу малости амплитуд возмущений при обратном распространении подчиняются законам «линейной» акустики, достигают приемоизлучающих антенн 6 и 7 (нос и корма соответственно) эхолотных систем, преобразуются ими в соответствующие электрические, причем полигармонические электрические сигналы  $U4_H, U4_K$  несут определенную амплитудную информацию о границах раздела, позволяют судить об их отражательной способности в широкой полосе частот ( $f - nf$ ), а также и о их удалении от приемоизлучающих антенн 6 и 7. Таким образом, при движении судна со скоростью  $U$  с помощью обоих эхолотных систем на различных спектральных компонентах  $f, 2f, 3f, \dots, nf$  отраженного полигармонического сигнала можно зафиксировать с различной разрешающей способностью детали подробных профилей «по-своему неровных» поверхностей морского дна, находящихся на общем маршруте следования, но в данный момент времени в разных его частях – под носовой (Н) и кормовой (К) частями движущегося судна соответственно. С этой целью в приемных трактах носовой и кормовой эхолотных систем движущегося судна осуществляется соответствующая обработка сигналов  $U4_H, U4_K$ . В результате этого на выходе приемного тракта носовой эхолотной системы после фильтрации (полосовые фильтры 8 ( $f$ ), 9 ( $2f$ ), ... 10 ( $nf$ )), усиления (усилители 14, 15, ... 16), детектирования (детекторы 20, 21, ... 22) и соответствующего переключения  $n$ -входного аналогового ключа 26 выделяется видеоимпульсный электрический сигнал  $U5_H$ , соответствующий эхосигналу какой-либо одной выбранной оператором в качестве рабочей спектральной компоненты из набора частот  $f, 2f, 3f, \dots, nf$  от облучаемой поверхности морского дна, находящейся под носовой частью корпуса судна. Видеоимпульсный электрический сигнал  $U5_H$  подается в тракт отображения и регистрации информации - на входы индикатора 33 и регистратора 34, запускаемые подачей синхроимпульса с выхода блока управления 37. Аналогично, на выходе приемного тракта кормовой эхолотной системы после фильтрации (полосовые фильтры 11 ( $f$ ), 12 ( $2f$ ), ... 13 ( $nf$ )), усиления (усилители 17, 18, ... 19), детектирования (детекторы 23, 24, ... 25) и соответствующего переключения  $n$ -входного аналогового ключа 27 выделяется видеоимпульсный электрический сигнал  $U5_K$ , соответствующий эхосигналу какой-либо одной выбранной оператором в качестве рабочей спектральной компоненты из набора частот  $f, 2f, 3f, \dots, nf$  от облучаемой поверхности морского дна, находящейся под кормовой частью корпуса судна. Видеоимпульсный электрический сигнал  $U5_K$  подается в тракт отображения и регистрации информации – на входы индикатора 35 и регистратора 36, запускаемые подачей синхроимпульса с выхода блока управления 37.

На характер записи рельефа морского дна эхолотной системой влияет как ширина основного лепестка характеристики направленности, так и уровень бокового излучения интерференционных антенн, в частности, в нашем случае – результирующая острота направленного действия  $\theta_{0,7(nf)рез}$  приемоизлучающей антенны, где  $n = 1, 2, 3, \dots, n$ , в результате чего изображение рельефа дна на эхограмме в основном соответствует действительному рельефу, однако неровности дна (впа-

дины и возвышенности) получаются сглаженными. При прохождении носа судна над впадиной (рис. 2) ее склоны облучает полигармонический зондирующий ультразвуковой сигнал, содержащий спектральные составляющие с частотами  $f, 2f, 3f, \dots, nf$ , на которых антенна 6 в режиме излучения имеет разную остроту направленного действия  $\theta_{0,7(f)изл} > \theta_{0,7(2f)изл} > \dots > \theta_{0,7(nf)изл}$  (нелинейный режим). Следует отметить, что острота направленного действия той же антенны 6 в режиме приема более высокочастотной компоненты также возрастает:  $\theta_{0,7(f)пр} = 2 \cdot \theta_{0,7(2f)пр} = \dots = n \cdot \theta_{0,7(nf)пр}$  (линейный режим). Таким образом, формирование результирующей характеристики направленности приемоизлучающей антенны 6 для каждой спектральной компоненты имеет свои особенности, обусловленные перемножением ее характеристик направленности по давлению в обоих режимах: ослабление уровня бокового излучения, более медленное обужение основного лепестка, причем  $\theta_{0,7(f)през} > \theta_{0,7(2f)през} > \dots > \theta_{0,7(nf)през}$ . Как следует из рис. 2, сигналы различных спектральных компонент отражаются от различных по площади участков поверхности впадины, в результате чего возвращаются к антенне 6 неодновременно, что приводит к удлинению эхосигналов, а также регистрации на эхограмме первыми отраженных сигналов, пришедших от ближайших к приемнику точек поверхности впадины. Таким образом, изображение рельефа впадины на эхограмме представляет собой геометрическое место точек на горизонтальной проекции облученной площади углубления морского дна, находящихся на кратчайшем расстоянии от приемной антенны при различных положениях носа судна относительно впадины [9]. Маскировка реального рельефа морского дна по пути следования судна обусловлена сферичностью волнового фронта ультразвуковых зондирующих сигналов, вследствие чего возникает неопределенность в оценке фактической глубины и неровности на полученной эхограмме изображаются сглаженными. В том случае, если измерение глубин производится на акваториях с большими уклонами дна, индикатор и регистратор эхолота будут фиксировать глубины меньше фактической, так как их срабатывание обусловлено приходом первого эхосигнала, соответствующего кратчайшему расстоянию между антенной и дном, что обуславливает наличие в практике измерений соответствующих поправок. В частности, если  $\alpha$  – угол наклона дна больше, чем ширина основного лепестка характеристики направленности  $\theta_{0,7}$  по уровню 0,7, то первым к антенне придет эхосигнал, распространяющийся по направлению, перпендикулярному к наклонному участку дна, и поправка на уклон дна определится по формуле [10]

$$\Delta H_{\alpha} = H \cdot \{ \cos[(\theta_{0,7} / 2) - \alpha] / \cos(\theta_{0,7}) - 1 \}, \quad (5)$$

причем в данном направлении участок наклонного дна может «акустически освещать» и дополнительный лепесток характеристики направленности, что говорит об актуальности снижения уровня бокового излучения приемоизлучающих интерференционных антенн эхолотов. Из соотношения (5) видно, что увеличение остроты направленного действия приемоизлучающей интерференционной антенны эхолота (т.е. уменьшение  $\theta_{0,7}$ ) приводит к уменьшению  $\Delta H_{\alpha}$ . При прохождении судном акваторий с сильно расчлененным дном погрешность измерения глубины будет зависеть также и от профиля дна: при движении судна «акустически освещается» полоса донной поверхности шириной  $2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \theta_{0,7}$ , в пределах которой

регистрируются ближайшие площадки дна, что маскирует имеющиеся в непосредственной близости неровности, в связи с чем увеличение остроты направленного действия приемоизлучающей антенны приведет к более точному отображению сложного профиля дна на регистраторе.

Таким образом, по мере движения судна по заданному курсу непрерывно определяются две медленно меняющиеся функции распределения глубин водоема, т.е. регистрируются несовпадающие в данный момент времени зависимости электрических сигналов  $U5_{K(nf)}(t)$  и  $U5_{H(nf)}(t)$ , пропорциональные распределению глубин акватории под носовой и кормовой частями корпуса. Эти функции идентичны друг другу и могут быть зарегистрированы оператором на любой из рабочих частот  $f, 2f, 3f, \dots, nf$  в зависимости от конкретных условий навигации, но сдвинуты во времени на величины  $\tau_{T12(nf)} = L/v_{(nf)}$  (рис. 3).

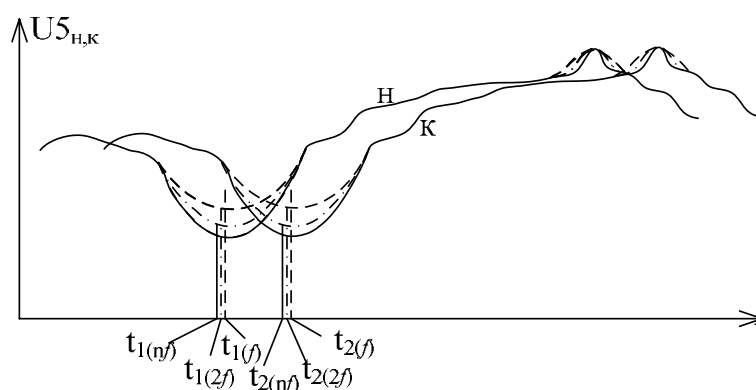


Рис. 3. Зависимости электрических сигналов  $U5_{K(nf)}(t)$  (корма) и  $U5_{H(nf)}(t)$  (нос), пропорциональных распределению глубин акватории

Для определения величин промежутков времени  $\tau_{T12(nf)} = t_{2(nf)} - t_{1(nf)}$  видеоимпульсные электрические сигналы  $U5_K$  и  $U5_H$ , соответствующие эхосигналам какой-либо одной выбранной оператором в качестве рабочей спектральной компоненты из набора частот  $f, 2f, 3f \dots, nf$  эхолотных систем, поступают на два входа перемножающего устройства 29, причем сигнал от носовой антенны – через блок регулируемой задержки времени 28. С интегратора 30 сигнал, пропорциональный коэффициенту  $r_{12}(\tau)_{(nf)}$  взаимной корреляции сигналов  $U5_{K(nf)}(t)$  и  $U5_{H(nf)}(t)$ , поступает на экстремальный регулятор 32 и на измерительный прибор 31. Управляющий сигнал с экстремального регулятора 32 воздействует на блок регулируемой задержки 28, устанавливающий такую задержку  $\tau = \tau_{T12(nf)}$ , чтобы на измерительном приборе 31 поддерживался максимум сигнала, т.е. максимум коэффициента  $r_{12}(\tau_{T12})_{(nf)}$  корреляции. По величине введенной задержки определяется скорость судна, измеренная на нескольких частотах  $f, 2f, \dots, nf$

$$v_{(nf)} = (\tau_{T12(nf)})^{-1} \cdot L. \quad (6)$$



Для многочастотного корреляционного гидроакустического лага имеется возможность увеличения точностных характеристик и выбора оптимального значения относительной флуктуационной погрешности измерения путевой скорости  $v_{(nf)}$ , определяемой соотношением (6), за счет регулировки величины важного параметра  $(\lambda/\theta_{0,7})$  – ширины пика взаимокорреляционной функции, что может быть необходимо при маневрировании судна с малыми скоростями движения  $v$  в узкостях, на акватории гавани и т.д. Следует отметить, что использование обратной интерференционной антенны РПА «Сарган» в качестве приемоизлучающей антенны многочастотного корреляционного гидроакустического лага может обеспечить снижение относительной флуктуационной погрешности измерения путевой скорости  $v$  (методическая погрешность устройства, обусловленная вероятностным характером флуктуаций огибающей эхосигналов от дна), определяемой соотношением

$$\delta(v_{\text{фл}}/v) = \kappa_v \cdot (\lambda/\theta_{0,7}) \cdot (\sqrt{\lambda/\theta_{0,7} \cdot v \cdot T}) \cdot (1/L), \quad (7)$$

где коэффициент  $\kappa_v = (0,3 - 0,4)$  определяется рассеивающими свойствами морского дна,  $L$  – продольный разнос (база) приемных антенн,  $T$  – время осреднения данных [7]. Из (7) следует, что относительная флуктуационная погрешность измерения путевой скорости  $v$  определяется техническими параметрами системы и в наибольшей степени зависит от значений измеряемой скорости, длины волны зондирующего сигнала, остроты направленного действия приемоизлучающей антенны, причем для снижения погрешности предлагается увеличивать продольный разнос антенн и время усреднения, повышать рабочую частоту и расширять характеристику направленности (для интерференционных поршневых антенн при неизменной апертуре при повышении рабочей частоты острота направленного действия повышается, т.е. ширина по уровню 0,7 основного лепестка характеристики направленности уменьшается). Как следует из (7), имеется возможность регулировки величины параметра  $(\lambda_{(nf)}/\theta_{0,7(nf)рез})$  – ширины пика взаимокорреляционной функции для соответствующей спектральной компоненты полигармонического сигнала (при использовании более высокочастотного сигнала числитель  $\lambda_{(nf)}$  уменьшается быстрее, чем знаменатель  $\theta_{0,7(nf)рез}$ , что вызывает уменьшение самого отношения), где  $\lambda_{(nf)}$  – длина волны используемого ультразвукового сигнала (изменяется в  $n$  раз),  $\theta_{0,7(nf)рез}$  – ширина результирующей характеристики направленности приемоизлучающей антенны (излучение – «нелинейный» режим, прием – «линейный» режим). Выше описан режим работы корреляционного измерителя абсолютной путевой скорости судна, т.е. относительно дна моря, причем, на больших глубинах устройство может работать в относительном режиме, носителем информации в котором является объемная реверберация.

Как следует из представленного выше, наличие остронаправленных приемоизлучающих антенн с регулируемой остротой направленного действия в эхолотных системах многочастотного корреляционного гидроакустического лага может позволить получить дополнительный объем уточненной первичной информации как о характеристиках движения судна-носителя, так и о регистрируемых глубинах водоемов по пути следования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богородский В.В., Яковлев Г.В., Коретин Е.А., Должиков А.К.* Гидроакустическая техника исследования и освоения океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 263 с.
2. <http://www.simbria.ru/ru/page.php?eq=sonars&id=spsrg>
3. *Волощенко В.Ю.* Вопросы исследования акустических сигналов высших гармоник для модернизации рыбопоисковой аппаратуры (часть 1) // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. – 2007. - № 2. – С. 38-42.
4. <http://www.simbria.ru/ru/page.php?eq=sounders&id=v138>
5. Акустика океана / Под ред. Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1974. – 694 с.
6. *Воловов В.И.* Об экспериментальном определении ширины индикатрисы рассеяния звука дном океана // Труды Акустического института АН СССР. – 1970. – Вып. X111. – С. 53-59.
7. *Букатый В.М., Дмитриев В.И.* Гидроакустические лаги. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 176 с.
8. *Волощенко В.Ю., Редин А.А., Волощенко А.П., Тарасов С.П.* Многочастотный корреляционный гидроакустический лаг // Положительное решение от 28.01.2010 г. о выдаче патента на полезную модель по заявке №2010100095/22(000146).
9. *Логонов К.В.* Электронавигационные и рыбопоисковые приборы. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 440с.
10. Судовые эхолоты / А.А.Хребтов и др. – Л.: Судостроение, 1982. – 232 с.

**Волощенко Вадим Юрьевич**

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

E-mail: [igkd@egf.tsure.ru](mailto:igkd@egf.tsure.ru); [Vigcorp@mail.ru](mailto:Vigcorp@mail.ru).

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371794.

**Куповых Геннадий Владимирович**

E-mail: [kupovykh@users.tsure.ru](mailto:kupovykh@users.tsure.ru).

Тел.: 88634371649.

**Voloshchenko Vadim Yur'evich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: [igkd@egf.tsure.ru](mailto:igkd@egf.tsure.ru), [Vigcorp@mail.ru](mailto:Vigcorp@mail.ru).

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371794.

**Kupovyh Genadij Vladimirovich**

E-mail: [kupovykh@users.tsure.ru](mailto:kupovykh@users.tsure.ru).

Phone: 88634371649.

УДК 627.02

**В.Ю. Занин**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ  
(ТПА) СО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ И НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ  
ПЛАВСРЕДСТВ**

*Рассмотрены вопросы безопасного обеспечения спускоподъемных операций в сложных условиях, вопросы навигационного обеспечения, изложены требования к характеристикам системы позиционирования судна. Предложен метод использования ТПА осмотрового класса с судна, не оборудованного системами позиционирования. Предложен метод обеспечения спускоподъемных операций аппарата рабочего класса в ледовой обстановке.*

*Подводный аппарат; спускоподъемное устройство; ТПА, СПУ; подводная робототехника; судно обеспечения.*