

УДК 629.7.058.43

DOI: 10.35330/1991-6639-2019-2-88-24-36

## ИЗМЕРЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ В ЗАДАЧАХ ПРИЧАЛИВАНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

И.Б. ШИРОКОВ<sup>1,2</sup>, Г.А. ИВАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
E-mail: info@sevsu.ru

<sup>2</sup>Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова  
299028, г. Севастополь, ул. Дыбенко, 1-а  
E-mail: chvmy\_3@mil.ru

*В работе рассматриваются некоторые аспекты создания системы причаливания автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) повышенной точности. Показано, что существующие сегодня системы причаливания АНПА крайне неэффективны. Отмечено, что такие системы сложны, дороги в эксплуатации, обладают низкой точностью позиционирования, которая варьируется и составляет от 1-2 м (в традиционных решениях) до нескольких десятков сантиметров (в продвинутых решениях). Показано, что большинство систем позиционирования имеют существенный недостаток – наличие «мертвой зоны», которая может достигать нескольких метров, что является непреодолимым препятствием и не позволяет использовать такие системы для осуществления операции причаливания АНПА на финальной стадии.*

*В работе предлагается решить задачу прецизионного позиционирования АНПА в локальной системе координат, при этом точность измерения дальностей между реперными точками АНПА и реперными точками терминала причаливания (дока) будет на три порядка выше, чем точность определения дальностей существующими системами, и может составлять единицы миллиметров. При этом «мертвая зона» системы причаливания будет отсутствовать. Измерение расстояний может осуществляться вплоть до полного контакта АНПА с причальным терминалом. На финальной стадии причаливания точность измерения расстояний может достигать долей миллиметра и даже меньше. Процесс причаливания и швартовки АНПА может происходить в полностью автоматическом режиме. Состояние водной среды, в которой находится АНПА (температура, давление, взвешенные и растворенные составляющие и пр.), не будет иметь значения.*

*Для достижения поставленной цели предлагается использовать принципиально новый, запатентованный подход к проблеме, заключающийся в том, что при осуществлении операции позиционирования используют одновременно два принципиально различных процесса распространения волновых колебаний низкой частоты: один – акустический, другой – электромагнитный. При этом принимаемые электромагнитные колебания используют в качестве опорного сигнала для принимаемых акустических колебаний. Таким образом, удастся построить фазовую радиотехническую систему, которая, собственно, и обеспечивает решение задачи позиционирования АНПА с высокой точностью.*

**Ключевые слова:** система причаливания АНПА, переменное магнитное поле низкой частоты, рамочная магнитная антенна, акустические колебания, акустический преобразователь, измерение разности фаз электрических сигналов.

### ВВЕДЕНИЕ

В мире наблюдаются тенденции, способствующие роботизации технических средств, используемых человеком при выполнении сложных и опасных работ в водной среде, подводных работ и исследований. Поэтому в настоящее время при решении подобных задач применяют АНПА, способные в автоматическом режиме выполнять поставленные перед

ними задачи. АНПА работает по заложенной программе – движется, выполняет задание и возвращается на базу, принимая команды и передавая информацию с помощью, как правило, гидроакустической системы связи. Традиционно навигация АНПА обеспечивается средствами бортовой навигационной системы счисления пути и гидроакустической навигационной системы (ГАНС) [1].

АНПА может выполнять широкий круг задач [1-4], а его наличие на борту надводного корабля или подводной лодки (ПЛ) существенно повышает тактические возможности такого комплекса [3, 4]. Существуют две концепции базирования АНПА на ПЛ. Первая – концепция «сухого базирования», вторая – концепция «мокрого базирования» [1].

Концепция «сухого базирования» АНПА реализована в США при создании противоминной системы лодочного базирования в рамках программы Long-term Mine Reconnaissance System (LMRS) [5].

Для обеспечения базирования АНПА на донных причальных устройствах (ДПУ) необходимо решить несколько взаимосвязанных технических задач [6], одной из которых является приведение АНПА к ДПУ с целью определения с минимальной погрешностью местоположения аппарата относительно ДПУ в процессе стыковки.

В известных отечественных и зарубежных разработках применяются три основных способа обеспечения позиционирования АНПА в процессе приведения на конечном участке: электромагнитный [9], оптический [7] и гидроакустический [8].

Оптические средства визуализации благодаря существенно более короткой длине волны обеспечивают наибольшее разрешение. Однако вследствие значительного поглощения света дальность действия оптических средств даже в чистой воде не превышает десятков метров, а в мутной воде, характерной для условий проведения подводно-технических работ, а также для большинства внутренних водоемов, она не превышает метра.

Суть электромагнитного способа заключается в ориентировании АНПА по магнитным силовым линиям источника магнитного поля, расположенного на ДПУ. Основным недостатком этого способа является высокая погрешность – около 20-25 см [9].

Применение гидроакустического способа ограничивается из-за сильного влияния переотражений сигнала от конструктивных элементов АНПА и ДПУ при их непосредственной близости [10].

Однако в настоящее время наиболее применимыми как раз являются гидроакустические средства. Очевидным требованием к гидроакустическим средствам визуализации, кроме большой дальности действия, является обеспечение высокой разрешающей способности при ограниченных весогабаритных характеристиках. В состав многофункциональной гидроакустической системы АНПА могут входить: интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ИГБО), гидролокатор бокового обзора (ГБО), многолучевой эхолот (МЛЭ), впередсмотрящий гидролокатор секторного обзора (ГСО), звуковизор. АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева» имеет определенный опыт разработки всех перечисленных типов гидролокаторов [11].

Надо понимать, что описанные выше локаторы и звуковизоры дают только изображение, которое затем требуется идентифицировать, распознать и «привязать» к локальной системе координат. Только после этого появляется возможность произвести автоматическое прецизионное причаливание АНПА.

Переносной комплекс Remote Environmental Monitoring UnitS (REMUS), разработанный Oceanographic Systems Laboratory и Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI), предназначен для подводно-инспекционных работ в условиях мелкого моря [2]. В состав бортовой измерительной аппаратуры АНПА входят: гидролокатор бокового обзора (ГБО),

датчики измерения оптических свойств водной среды и акустический профилограф. Для решения навигационных задач используются: доплеровский лаг, ГАНС с длинной и ультракороткой базами, датчик курса и датчики угловых скоростей.

ДПУ состоит из причального конуса наружным диаметром 1,0 м, который ведет к цилиндрической части с внутренним диаметром 0,25 м, что на 0,06 м больше, чем диаметр корпуса аппарата [12, 13].

Для обеспечения стыковки АНПА REMUS со своим ДПУ применено акустическое приведение [13]. Аппарат имеет УКБ ГАНС, известную как Relative Acoustic Tracking System (RATS) [14]. Эта ГАНС обеспечивает точное определение дистанции и положения аппарата относительно транспондера. ДПУ имеет компас, включенный в состав его электронных систем. О точности наведения АНПА к ДПУ можно судить по диаметру причального конуса (один метр).

Причальное устройство типа «Bluefin» разработано в институте Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI). Разработчики подошли к проекту таким образом, чтобы упростить устройство ДПУ, разместив все сложные части в АНПА. Причальный конус плавно сопрягается с корпусом и изготовлен из пластиковых реек, удерживающихся с помощью колец из нержавеющей стали [15, 16].

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Недостатки описанных способов причаливания очевидны и заключаются в невысокой точности позиционирования, которая в стандартном решении составляет около 1 м. Попытки улучшения точности позиционирования ведут к разработке достаточно сложных алгоритмов обработки первичных данных [17], что повышает программно-аппаратные затраты и резко снижает эффективность самой системы причаливания. Кроме того, большинству систем позиционирования свойственно наличие «мертвой зоны», что является непреодолимым препятствием для организации автоматического причаливания АНПА на финальной стадии.

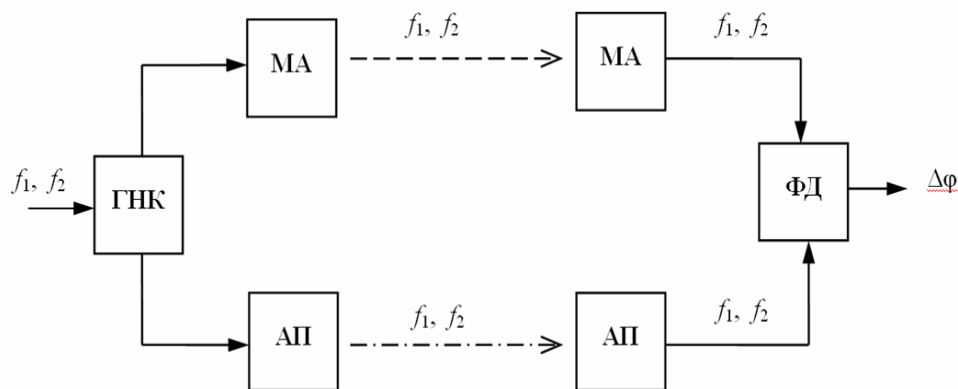
Для организации автоматического причаливания АНПА требуется точность позиционирования 5-10 мм, наличие «мертвой зоны» системы причаливания при этом недопустимо. Кроме того, для повышения интегральной эффективности системы причаливания программно-аппаратные затраты на создание и функционирование такой системы должны быть невысокими.

Таким образом, необходимо разработать техническое решение, которое удовлетворяло бы указанным требованиям.

#### НОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Предлагается новое техническое решение, обеспечивающее повышение на несколько порядков точности позиционирования АНПА в локальной системе координат. Кроме того, организация позиционирования АНПА в соответствии с данным техническим решением предполагает отсутствие «мертвой зоны» системы причаливания. Решение характеризуется предельной простотой программно-аппаратной реализации.

Суть новой идеи и нового технического решения заключается в том, что для измерения расстояния между реперными точками АНПА и базы используются одновременно два принципиально различных механизма распространения волновых процессов: один акустический, другой электромагнитный, как показано на рис. 1 [18].



**Рис. 1.** Способ измерения дальности на АНПА

При этом на одной точке измерительной трассы, на терминале причаливания (док, база) с помощью генератора низкочастотных колебаний (ГНК) формируют электрические колебания звуковой частоты, описываемые выражением

$$u_1(t) = U_0 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_{01}),$$

где  $U_0$  – амплитуда,  $f_1$  – частота,  $\varphi_{01}$  – фаза электрических колебаний. Эти электрические колебания подают одновременно на передающий акустический преобразователь (АП) и на передающую рамочную магнитную антенну (МА).

Передающий акустический преобразователь излучает акустическую волну, передающая рамочная магнитная антенна излучает электромагнитную волну. Оба этих волновых процесса свободно распространяются в некотором широком секторе пространства, в котором находится АНПА.

На самом АНПА устанавливают приемную рамочную магнитную антенну и приемный акустический преобразователь(и). Электромагнитная волна с частотой  $f_1$  при распространении на расстояние  $D$  от передающей рамочной магнитной антенны до приемной рамочной магнитной антенны получает набег фазы

$$\varphi_{11} = 2\pi f_1 D / c_l,$$

где  $c_l$  – скорость света в среде распространения.

На самом деле механизм распространения электромагнитных волн в проводящей среде несколько более сложный, тем более, если учитывать ближнюю зону работы антенн, как это будет показано ниже. Но в нашем случае имеет значение именно скорость распространения электромагнитных волн, которая остается высокой. При низких частотах  $f_1$  звукового диапазона длин волн (сотни километров) и при малых дальностях  $D$ , составляющих до сотни метров, длина волны электромагнитного излучения оказывается много больше измеряемой дальности  $D$ . Другими словами, передающая и приемная рамочные магнитные антенны работают в ближней зоне, и их результирующее взаимодействие является преимущественно взаимодействием переменным магнитным полем.

Известно при этом, что электрическая составляющая электромагнитного поля в проводящей среде затухает быстрее, чем магнитная. Но в нашем случае, при распространении на крайне малые расстояния, много меньшие длины волны, электрическая составляющая не успевает сформироваться, и связь обеспечивается исключительно магнитной составляющей электромагнитного поля. Отсюда наблюдается хорошая проникающая способ-

ность переменного магнитного поля низкой частоты при его распространении в воде, грунте и/или любой другой среде, даже имеющей электрическую проводимость.

На воздухе переменное магнитное поле ближней зоны магнитной антенны убывает обратно пропорционально кубу расстояния. Этот факт известен и описан в большом количестве научных источников. На этом свойстве основана работа любых магнитометров, серийно выпускаемых промышленностью. С погружением в воду наблюдается дополнительное ослабление сигнала, но связь не прекращается совсем.

Таким образом, при длине волны излучения, во много раз превосходящей измеряемую дальность  $D$ , набегом фазы  $\varphi_{11}$  можно пренебречь и утверждать, что непрерывные колебания, формируемые на выходе приемной рамочной магнитной антенны, являются синфазными ( $\varphi_{11} \approx 0$ ) по отношению к непрерывным колебаниям, поступающим на вход передающей рамочной магнитной антенны и описываются одним и тем же выражением, но с различными амплитудными множителями.

Потери амплитуды сигнала при излучении рамочной магнитной антенной электромагнитного поля, его распространении в воде, его приеме рамочной магнитной антенной можно легко скомпенсировать дальнейшим простым усилением получаемого электрического сигнала. Причем место установки передающей и приемной рамочных магнитных антенн не принципиально. Непрерывные колебания на входе передающей и на выходе приемной рамочных магнитных антенн всегда будут либо синфазны, либо противофазны (в зависимости от их взаимной ориентации), как это имеет место в случае использования двух катушек индуктивностей (те же рамочные магнитные антенны) с взаимной индуктивной (магнитной) связью.

Правомерность использования взаимной магнитной связи двух рамочных магнитных антенн подтверждена полномасштабными теоретическими и экспериментальными исследованиями и нашла отражение в научных трудах и патентах РФ [20].

С другой стороны, с помощью передающего акустического преобразователя излучают в направлении другого конца измерительной трассы акустическую волну. Акустическая волна с частотой  $f_1$  при распространении на расстояние  $D$  от передающего акустического преобразователя до приемного акустического преобразователя также получает свой набег фазы

$$\varphi_{21} = 2\pi f_1 D / c_a ,$$

где  $c_a$  – скорость звука в среде распространения.

Значением этого набега фазы пренебречь нельзя, поскольку его величина может достигать нескольких тысяч фазовых циклов величиной  $2\pi$  каждый.

Таким образом, на выходе приемного акустического преобразователя формируются непрерывные колебания, описываемые следующим выражением:

$$u_2(t) = U_0 A_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_{01} + 2\pi f_1 D / c_a) .$$

Непрерывные колебания с выхода приемной рамочной магнитной антенны и с выхода приемного акустического преобразователя подаются на входы измерителя разности фаз (фазового детектора ФД), на выходе которого формируют сигнал, пропорциональный разности фаз этих подаваемых сигналов. Очевидно, что на выходе измерителя разности фаз величины  $2\pi f_1 t$  и  $\varphi_{01}$  взаимно вычитаются и остается один информационный параметр  $2\pi f_1 D / c_a$ .

Однако измеритель разности фаз способен адекватно отобразить измеряемую разность фаз, если величина этой разности фаз лежит в пределах от 0 до  $2\pi$ . Другими словами, измеритель разности фаз формирует сигнал, пропорциональный некоторой величине  $\Delta\varphi_{m1}$ , которая связана с реальным набегом фазы  $\varphi_{21}$  следующим соотношением:

$$\Delta\varphi_{m1} = \varphi_{21} - n \cdot 2\pi = 2\pi f_1 D / c_a - n \cdot 2\pi,$$

где  $n$  – некоторое любое целое число, зависящее от соотношения длины волны и дальности. Другими словами, появляется неоднозначность измерений.

Для решения этой проблемы указанное измеренное значение  $\Delta\varphi_{m1}$  фиксируют, после чего изменяют значение частоты непрерывных колебаний до некоторой известной величины  $f_2$  и повторяют всю процедуру излучения и приема электромагнитных и акустических волн и вновь измеряют разность фаз  $\Delta\varphi_{m2}$  непрерывных колебаний на выходе приемной рамочной магнитной антенны и выходе приемного акустического преобразователя, которую вновь фиксируют. После чего определяют разность фаз

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{m1} - \Delta\varphi_{m2}$$

и вычисляют дальность по формуле

$$D = \Delta\varphi c_a / 2\pi(f_1 - f_2).$$

Важно при этом помнить, что изменение частоты ( $f_1 - f_2$ ) не должно приводить к изменению разности фаз сигналов на величину, большую, чем  $2\pi$ . Другими словами,

$$f_1 - f_2 \leq c_a / D.$$

При разрешающей способности фазометра  $\Delta\varphi = 1^\circ$  и при измерении дальности на финальной стадии причаливания ( $D = 1$  м) результирующая точность определения дальности составит менее 3 мм.

Надо понимать, что данная точность не является предельной. При использовании соответствующих технологических решений и специальных алгоритмов обработки сигналов эту точность можно еще увеличить на 1-2 порядка. По мере приближения АНПА к терминалу можно увеличивать частоту акустических и электромагнитных колебаний вплоть до ультразвука. При этом повышенные затухания электромагнитных волн будут компенсироваться малым расстоянием распространения. Представляется, что в этом нет особого смысла.

Таким образом, появляется реальная возможность определить расстояние между реперными точками АНПА и базы или, другими словами, осуществить позиционирование АНПА в локальной системе координат с точностью на три порядка лучшей, чем сегодня реализовано стандартными акустическими методами.

#### МОДЕРНИЗИРОВАННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Описанная выше технология позволяет определить расстояние между причальным устройством и АНПА. Однако основной информационный параметр при этом получают на самом АНПА. Для получения этого параметра на причальном устройстве необходимо произвести изменение частоты сигнала в определенных пределах ( $f_1 - f_2$ ), которое заранее неизвестно. Решить эту проблему можно так, как показано на рис. 2 [19].

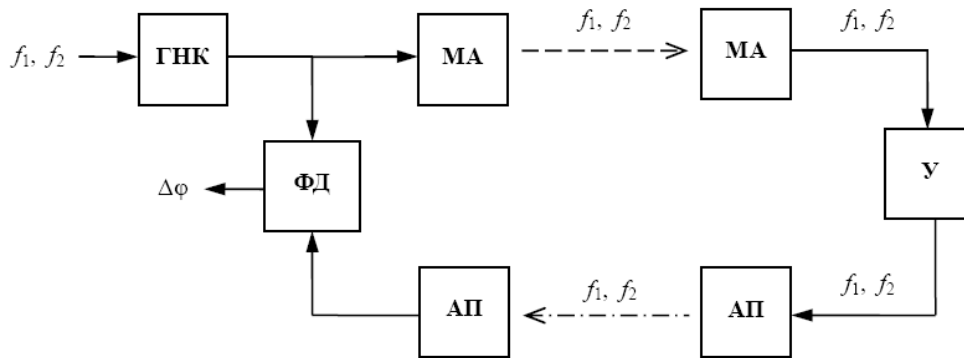


Рис. 2. Способ измерения дальности на причальном терминале

Здесь приняты те же обозначения, что и ранее. В схему устройства добавлен низкочастотный усилитель (У).

Базовые соотношения при реализации данного способа практически те же, что и описанные выше. Отличие заключается в том, что принятый магнитной антенной на АНПА сигнал усиливают и подают на акустический преобразователь самого АНПА. Акустическая волна распространяется в этом случае от АНПА к причальному терминалу, где эту волну принимают и, как и ранее, осуществляют измерение разности фаз. Таким образом, информация о дальности АНПА оказывается доступной на самом причальном устройстве, что, собственно, и решает обозначенное выше противоречие.

#### СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ТЕХНОЛОГИИ

В последние несколько лет авторами выполнялись научные исследования по позиционированию наземных (надводных) объектов и по поиску людей под завалами в шахтах. Это принципиально разные задачи, и решались они принципиально разными технологиями.

Первая технология основана на использовании фазовых методов построения радиотехнических систем и устройств радиоволнового и СВЧ-диапазонов длин волн. Суть технологии заключается в использовании гомодинного метода выделения полезного сигнала. Это решение способствует созданию простых и надежных фазовых радиотехнических систем и устройств, обладающих к тому же высокими метрологическими характеристиками. Фазовые радиотехнические системы с использованием СВЧ-техники обеспечивают реализацию высоких тактико-технических показателей. Это доказано теоретически и практически. По технологии фазовых измерений и построению фазовых радиотехнических систем и устройств опубликовано более 300 научных работ автора, в том числе получено около 40 патентов на изобретения, некоторые из которых приведены в списке [21].

Однако техника СВЧ оказывается совершенно бесполезной под водой. СВЧ-сигналы быстро затухают в воде. Тем не менее, показано и доказано, что идеи фазовых измерений в СВЧ-диапазоне можно распространить и на область акустики. Акустические волновые процессы также можно преобразовать в электрические колебания, только низкочастотного диапазона, звукового и ультразвукового. Далее можно осуществить необходимые фазовые измерения электрических сигналов и получить желаемый результат.

При решении задач поиска людей под завалами в шахтах использовалась технология прохождения переменного магнитного поля низкой частоты через толщу горных пород, бетонные сооружения, водоносные слои на относительно небольшие (до 100 м) расстояния. Доказано, что переменное магнитное поле низкой частоты беспрепятственно прони-

кает сквозь толщу горных пород, конструкции и сооружения, под воду. Чем ниже частота переменного магнитного поля, тем глубже в толщу пород и под воду проникают его колебания. По технологии с использованием проникающих свойств переменного магнитного поля низкой частоты опубликовано более 100 научных работ автора, в том числе получено около 30 патентов на изобретения [20].

Однако надо понимать, что длина волны электромагнитных колебаний звукового диапазона, составляющая сотни километров, оказывается много больше радиуса действия интересующей системы позиционирования АНПА. По этой причине говорить о фазовых измерениях сигналов на входах и выходах антенн электромагнитного излучения не представляется возможным. Все сигналы оказываются синфазными или противофазными. Соответственно при организации поиска людей под завалами использовалась амплитудная технология получения полезной информации. Как следствие, точность системы позиционирования в этом случае оказывалась невысокой.

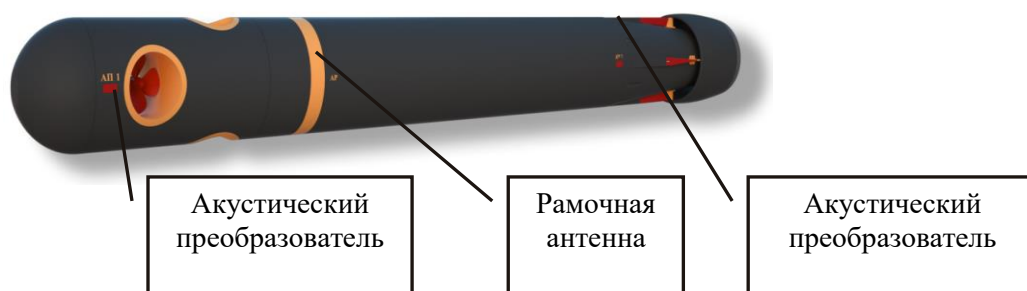
### ОБЪЕДИНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящей работе успешное развитие описанных выше технологий дало известный синергетический эффект: родилась принципиально новая технология, объединяющая в себе лучшие достижения уже существующих. Есть понимание того, что развитие этой технологии будет доведено до логического конца и есть реальная возможность создать принципиально новую систему прецизионного позиционирования АНПА в локальной системе координат ближнего радиуса действия.

Альтернативные варианты решения задачи позиционирования известны, и они описаны выше. Данные решения не могут конкурировать с заявляемым техническим решением ни по реально достижимой точности позиционирования, ни по возможности автоматизации самого процесса причаливания и швартовки, ни по стоимости оборудования, его габаритам и потребляемой мощности.

### РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ НА БОРТУ АНПА

Таким образом, для организации причаливания АНПА на его борту необходимо разместить рамочную магнитную антенну и акустические преобразователи, как это показано на рис. 3.



*Рис. 3. Схема размещения элементов системы позиционирования на АНПА*

Расстояния между акустическими преобразователями известны заранее, поэтому, зная измеренные расстояния от каждого акустического преобразователя АНПА до акустического преобразователя(ей) причального терминала, можно легко определить координаты АНПА в локальной системе координат.



### ОЖИДАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

В результате практической реализации работы можно получить рабочий образец системы определения координат АНПА в локальной системе позиционирования. Предполагается, что АНПА будет приводиться в зону причаливания любым известным способом. Линейный размер зоны причаливания будет составлять примерно 100 м. Далее будет включаться система локального позиционирования, которая позволит произвести дальнейшее движение АНПА к причальному терминалу, постоянно отслеживая его координаты с высокой точностью.

На дальних подступах зоны причаливания (100 м) точность позиционирования будет составлять около 30 см. По мере приближения АНПА к терминалу точность будет возрастать и на финальной стадии (1 м) составлять около 3 мм. На момент полной стыковки точность может достигать величины 0,3 мм.

Система позиционирования АНПА не будет иметь «мертвую зону». Координаты АНПА будут измеряться вплоть до его полной швартовки к терминалу.

Реальные высокоточные данные о положении АНПА в реальном времени открывают широкие перспективы по автоматизации самого процесса причаливания. Нет необходимости в использовании систем подводного телевидения с сопутствующим вовлечением труда операторов. Нет необходимости проводить процедуру распознавания образов, требующую наличия высокопроизводительных бортовых компьютеров. Нет зависимости работы системы от температуры воды, давления, наличия взвешенных и растворенных в ней составляющих. Влияние всех дестабилизирующих факторов будет учитываться автоматически по мере изменения условий нахождения и движения АНПА. Определение координат АНПА на финальной стадии причаливания с точностью 3 мм и лучше, вплоть до 0,1 мм, является качественно новым достижением, которое может быть реализовано при практической реализации работы. Характеристики системы сведены в табл. 1.

*Таблица 1*

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ТТХ СИСТЕМЫ ПРИЧАЛИВАНИЯ АНПА

Дальность действия локальной системы позиционирования	от 0 до 100 м	
Точность позиционирования	на дальности 100 м	0,3 м
	на дальности 10 м	0,03 м
	на дальности 1 м	3 мм
Частота акустического/электромагнитного сигнала	1-10 кГц	
Мощность потребления бортовой части системы (АНПА)	0,2 Вт	
Мощность потребления базовой части системы	100 Вт	
Объем бортовой части системы (электронного блока)	1 л	
Вес бортовой части системы (электронного блока)	1 кг	

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предлагается идея построения системы локального прецизионного позиционирования АНПА. Система строится на объединении двух технологий распространения волновых процессов в воде: переменного магнитного поля низкой частоты и акустических колебаний. Объединение этих технологий позволит построить фазовую радиотехническую систему, обладающую повышенной точностью определения главного информационного параметра – дальности.

Система способна обеспечить точность причаливания АНПА к терминалу порядка 1 мм и лучше.

Система не имеет «мертвой зоны» причаливания и в состоянии контролировать движения АНПА вплоть до его полной швартовки к терминалу.

Реализация системы предполагает полную автоматизацию процедуры причаливания и швартовки АНПА.

Система обладает предельной простотой ее программно-аппаратной реализации.

Созданная новая система позиционирования будет незаменима при организации работы патрульных служб подводного базирования. Особенно актуальным представляется использование новой системы позиционирования в рамках организации охраны и мониторинга состояния опор Крымского моста. Аналогичная задача может быть поставлена службам охраны и мониторинга акватории бухт, причалов, других подводных и надводных объектов.

Отдельно следует обозначить открывающиеся широкие перспективы при организации научных исследований, геологоразведке, подводной археологии и т.п. В любом случае освоение мирового океана, которое представляется архиважной задачей современного мира, невозможно без использования АНПА, которые необходимо периодически возвращать на базу для подзарядки их батарей, считывания полезной информации, загрузки новых программ исследований и новых программ выполнения боевых задач, новых полезных грузов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д. Автономные подводные работы. Системы и технологии // М.: Наука, 2005. 400 с.
2. Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Бочаров Л.Ю. Угроза из глубины: XXI век // Хабаровск: КГУП «Хабаровская краевая типография», 2011. 304 с.
3. Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Сидоренко В.В. Подводные роботы в минной войне: монография. Калининград: ОАО «Янтарный сказ», 2008. 116 с.
4. Необитаемые подводные аппараты военного назначения / Под ред. акад. М.Д. Агеева. Владивосток: Дальнаука, 2005. 164 с.
5. <http://auvac.org/configurations/view/14#> Система AN/BLQ-11.
6. Илларионов Г.Ю., Щербатюк А.Ф., Кушнерик А.А., Квашнин А.Г. Донные причальные устройства для автономных обитаемых подводных аппаратов // Двойные технологии. 2011. №1 (54). С. 13–21.
7. Cowen S., Briest S., Dombrowski J. Underwater docking of autonomous undersea vehicles using optical terminal guidance // OCEANS '97: MTS/IEEE Conference 1997. Vol. 2. P. 1143-1147.
8. Stokey R., Purcell M., Forrester N., Austin T., Goldsborough R., Allen B., von Alt C. Docking System for REMUS, an Autonomous Underwater Vehicle // Oceans '97: MTS/IEEE Conference. 1997. Vol. 2. P. 1131–1136.
9. Feezor M.D., Sorrell F.Y., Blankinship P.R., Bellingham J.G. Autonomous Underwater Vehicle Homing / Docking via Electromagnetic Guidance // Journal of oceanic engineering. October 2001. Vol. 26. No. 4. P. 515-521.
10. Носов И.Н. Влияние специфики базирования автономного обитаемого подводного аппарата на подводном носителе на требования к гидроакустическим средствам навигации и связи // Сборник докладов VI научно-практической конференции «Гидроакустическая связь и гидроакустические средства аварийно-спасательного назначения». 2013. С. 115-117.

11. *Лекомцев В.М., Титаренко Д.В.* Гидроакустические средства визуализации для необитаемых подводных аппаратов // Морские информационно-управляющие системы. 2014. № 3(6). С. 14-19.
12. *Allen B. Austin T., Forester N.* Autonomous docking. Demonstration with enhanced REMUS technology // Oceanographic System Laboratory Woods Hole, MA 02543 USA.
13. <http://www.hydroinc.com/pdfs/Remus%20100%20Docking.pdf>
14. *Stokey R., Purcell M., Forrester N., Austin T.* A docking System for REMUS, An Autonomous Underwater Vehicle / R. Stokey and other. // OCEANS 97. 1997. Vol. 2. P.1132-1136.
15. *Austin T. Stokey R., von Alt C., Arthur R. and Goldsborough R.* «Rats», a relative acoustic tracking system developed for deep ocean navigation. T. Austin, // In OCEANS '97. MTS/IEEE Conference Proceedings 1997. V.1. P. 535-540.
16. *Coulson R. Lambiotte J., An E.* A modular docking system for 12.75-inch class. AUVs // Sea Technology. 2005. P. 49–54.
17. *Гуренко Б.В.* Разработка алгоритмов сближения и стыковки автономного необитаемого подводного аппарата с подводной станцией базирования // Известия ЮФУ. Технические науки. Издательство Южного федерального университета. Ростов-на-Дону. 2015. № 2(163). С. 162-172.
18. *Широков И.Б.* Способ измерения дальности. Патент на изобретение № 2657016, Россия. МПК G01S 15/08 (2018.01). Заявка №2017123966/93 от 06.07.2017. Оpubл. 08.06.2018. Бюл. № 16.
19. *Широков И.Б.* Способ измерения дальности. Патент на изобретение № 2679000, Россия. МПК G01S 13/32 (2006.01). Заявка № 2018111959 от 03.04.2018. Оpubл. 05.02.2019. Бюл. № 4.
20. *Широков И.Б.* Патенты РФ №№ 2584977, 2584978, 2584979, 2584980, 2584981, 2584982, 2584983, 2584967, 2584974, 2594339, 2594340, 2600563.
21. *Широков И.Б.* Патенты РФ и АС СССР: А.С.1334228, А.С.1486942, А.С.1730689, А.С.1718149, Пат. №№ 2584968, 2584969, 2584972, 2584975, 2584976, 2594333, 2594335, 2594336, 2594337, 2594341, 2594343, 2594345, 2595247.

## REFERENCES

1. Ageyev M.D. *Avtonomnyye podvodnyye roboty. Sistemy i tekhnologii* [Autonomous underwater robots. Systems and technologies]. M.: Nauka, 2005. 400 pages.
2. Illarionov G.Yu., Sidenko K.S., Bocharov L.Yu. *Ugroza iz glubiny: XXI vek* [Threat from the depths: XXI century]. Khabarovsk: KGUP «Khabarovskaya krayevaya tipografiya», 2011. 304 s.
3. Illarionov G.Yu., Sidenko K.S., Sidorenko V.V. *Podvodnyye roboty v minnoy voyne: Monografiya* [Underwater robots in a mine war: Monograph]. Kaliningrad: JSC «Yantarnyy skaz», 2008. 116 s.
4. *Neobitayemyye podvodnyye apparaty voyennogo naznacheniya* [Uninhabited underwater vehicles for military purposes]. Under editorialship of academician M.D. Ageyev. Vladivostok: Dal'nauka. 2005. 164 s.
5. <http://auvac.org/configurations/view/14# Sistema AN/BLQ-11>.
6. Illarionov G.YU., Shcherbatyuk A.F., Kushnerik A.A., Kvashnin A.G. *Donnyye prichal'nyye ustroystva dlya avtonomnykh neobitayemykh podvodnykh apparatov* [Bottom

mooring devices for autonomous uninhabited underwater vehicles]. *Dvoynnye tekhnologii*. 2011. № 1(54). S. 13–21.

7. Cowen S., Briest S., Dombrowski J. Underwater docking of autonomous undersea vehicles using optical terminal guidance // OCEANS '97: MTS/IEEE Conference 1997. Vol. 2. P. 1143-1147.

8. Stokey R., Purcell M., Forrester N., Austin T., Goldsborough R., Allen B., von Alt S. Docking System for REMUS, an Autonomous Underwater Vehicle // Oceans '97: MTS/IEEE Conference. 1997. Vol. 2. P. 1131-1136.

9. Feezor M.D., Sorrell F.Y., Blankinship P.R., Bellingham J.G. Autonomous Underwater Vehicle Homing / Docking via Electromagnetic Guidance // Journal of oceanic engineering. October 2001. Vol. 26. No. 4. P. 515-521.

10. Nosov I.N. *Vliyaniye spetsifiki bazirovaniya avtonomnogo neobitayemogo podvodnogo apparata na podvodnom nositele na trebovaniya k gidroakusticheskim sredstvam navigatsii i svyazi* [Influence of the specifics of basing an autonomous uninhabited underwater vehicle on an underwater carrier on the requirements for sonar navigation and communications] // *Sbornik dokladov VI nauchno-prakticheskoy konferentsii «Gidroakusticheskaya svyaz' i gidroakusticheskiye sredstva avariyno-spasatel'nogo naznacheniya»*. 2013. S. 115-117.

11. Lekomtsev V.M., Titarenko D.V. *Gidroakusticheskiye sredstva vizualizatsii dlya neobitayemykh podvodnykh apparatov* [Hydroacoustic visualization tools for uninhabited underwater vehicles] // *Morskiye informatsionno-upravlyayushchiye sistemy*. 2014 No. 3(6). S. 14-19.

12. Allen B. Austin T., Forester N. Autonomous docking. Demonstration with enhanced REMUS technology // Oceanographic System Laboratory Woods Hole, MA 02543 USA.

13. <http://www.hydroindinc.com/pdfs/Remus%20100%20Docking.pdf>

14. Stokey R., Purcell M., Forrester N., Austin T. A docking System for REMUS, An Autonomous Underwater Vehicle / R. Stokey and other // OCEANS 97. 1997. Vol. 2. S. 1132-1136.

15. Austin T. Stokey R., von Alt S., Arthur R. and Goldsborough R. “RATS”, a relative acoustic tracking system developed for deep ocean navigation. T. Austin // In OCEANS '97. MTS/IEEE Conference Proceedings 1997. V.1. P. 535. 540.

16. Coulson R. Lambiotte J., An E. A modular docking system for 12.75-inch class. AUVs // *Sea Technology*. 2005. P. 49-54.

17. Gurenko B.V. *Razrabotka algoritmov sblizheniya i stykovki avtonomnogo neobitayemogo podvodnogo apparata s podvodnoy stantsiyey bazirovaniya* [Development of algorithms for approaching and docking an autonomous uninhabited underwater vehicle with an underwater base station] // *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskkiye nauk* Publishing house. *Southern Federal University. Rostov-on-Don*. 2015. № 2(163). S. 162-172.

18. Shirokov I.B. *Sposob izmereniya dal'nosti* [The method of measuring the distance]. Patent for invention № 2657016, RF MPK G01S 15/08 (2018.01) Application № 2017123966/93 ot 06.07.2017. Printed 08.06.2018, Bull. № 16.

19. Shirokov I.B. *Sposob izmereniya dal'nosti* [The method of measuring the distance]. Patent for invention № 2679000, RF MPK G01S 13/32 (2006.01). Application № 2018111959 ot 03.04.2018. Printed 05.02.2019 Bull. № 4.

20. Shirokov I.B. RF Patents №№ 2584977, 2584978, 2584979, 2584980, 2584981, 2584982, 2584983, 2584967, 2584974, 2594339, 2594340, 2600563.

21. Shirokov I.B. RF and USSR patents: A.S.1334228, A.S.1486942, A.S.1730689, A.S.1718149, Pat. №№ 2584968, 2584969, 2584972, 2584975, 2584976, 2594333, 2594335, 2594336, 2594337, 2594341, 2594343, 2594345, 2595247.

## DISTANCE MEASUREMENTS WITH INCREASED ACCURACY AT THE TASK OF MOORING OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE

I.B. SHIROKOV<sup>1,2</sup>, G.A. IVANOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FSAEI of HE "Sevastopol State University"  
299053, Sevastopol, ul. University, 33  
E-mail: info@sevsu.ru

<sup>2</sup>Black Sea Higher Naval School named after P.S. Nakhimov  
299028, Sevastopol, ul. Dybenko, 1-a  
E-mail: chvmy\_3@mil.ru

*The paper discusses some aspects of creating a local positioning system for autonomous uninhabited underwater vehicles (AUV) of increased accuracy. It is shown, that the existing systems of mooring of AUV are extremely inefficient. Such systems are complex, expensive in operation, have low positioning accuracy, which varies from 1-2 m (in traditional solutions) to several tens of centimeters in advanced solutions. It is shown, that the majority of positioning systems have a significant drawback: the presence of a "dead zone" that can reach several meters, which is an insurmountable obstacle and does not allow using such systems to carry out the mooring operation of AUV at the final stage.*

*The paper proposes to solve the problem of precision positioning of AUV in the local coordinate system, while the accuracy of measuring distances between reference points of AUV and reference points of the terminal of communicating (dock) will be three orders of magnitude higher than the accuracy of determining distances by existing systems and be units of millimeters. In this case, the "dead zone" of the mooring system will be absent. Measurement of distances can be carried out up to full contact of AUV with the berthing terminal. At the final stage of mooring, the accuracy of measuring distances can reach fractions of a millimeter and even better. The mooring process of the AUV can be fully automatic. The state of the aquatic environment in which the AUV is located (temperature, pressure, suspended and dissolved components, etc.) will not matter.*

*To achieve this goal, it is proposed to use a fundamentally new, patented approach to the problem, which consists in the fact that when performing a positioning operation, two fundamentally different processes of propagation of low-frequency wave oscillations are used simultaneously: one is acoustic and the other is electromagnetic. In this case, the received electromagnetic oscillations are used as a reference signal for the received acoustic oscillations. Thus, it is possible to build a phase radio engineering system, which actually provides the solution to the positioning problem of the AUV with high accuracy.*

**Keywords:** mooring system for AUV, alternating magnetic field of low frequency, loop magnetic antenna, acoustic oscillations, acoustic transducer, measurement of the phase difference of electrical signals.

*Работа поступила 11.03.2019 г.*