

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
23 декабря 2021 (23.12.2021)



(10) Номер международной публикации
WO 2021/256948 A1

(51) Международная патентная классификация:
G01S 15/89 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2020/000288

(22) Дата международной подачи:
15 июня 2020 (15.06.2020)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(71) Заявитель: **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МОРСКИЕ ИННОВАЦИИ"** (OBSHESTVO S OGRANICHENNOY
OTVETSTVENNOSTIYU "MORSKIYE
INNOVATSII") [RU/RU]; Территория Сколково инно-
вационного центра, Большой б-р, 42, стр. 1, пом. 1012,
Москва, 121205, Moscow (RU).

(72) Изобретатели: **ВОРОНИН, Василий Алексеевич**
(VORONIN, Vasilyi Alekseevich); ул. Ломоносова,
59/1, кв. 85 Ростовская область, г. Таганрог, 347932,
Rostovskaya oblast, g. Taganrog (RU). **ПЛЕШКОВ, Антон**
Юрьевич (PLESHKOV, Anton Yurievich); ул. Ка-
линина, 4, кв. 35, Томская область, г. Северск, 636000,
Tomskaya oblast, g. Seversk (RU). **ТАРАСОВ, Сер-
гей Павлович** (TARASOV, Sergey Pavlovich); ул. Ма-

риупольское шоссе, 27, кв. 60 Ростовская область,
г. Таганрог, 347939, Rostovskaya oblast, g. Taganrog
(RU). **ПИВНЕВ, Петр Петрович** (PIVNEV, Petr
Petrovich); пер. Смирновский, 137/3, кв. 61 Ростов-
ская область, г. Таганрог, 347923, Rostovskaya oblast,
g. Taganrog (RU). **ВОЛОЩЕНКО, Вадим Юрьевич**
(VOLOSHCHENKO, Vadim Yurievich); ул. Чехова,
154А, кв. 10 Ростовская область, г. Таганрог, 347935,
Rostovskaya oblast, g. Taganrog (RU). **ВОЛОЩЕНКО,**
Александр Петрович (VOLOSHCHENKO, Aleksandr
Petrovich); ул. Фрунзе, 4 "Б" Ростовская область, г. Та-
ганрог, 347900, Rostovskaya oblast, g. Taganrog (RU).

(74) Агент: **БУТЕНКО, Людмила Васильевна**
(BUTENKO, Lyudmila Vasilievna); а/я 86 г. Томск,
634050, g. Tomsk (RU).

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ULTRASONIC IMAGING OF THE BOTTOM OF A BODY OF WATER

(54) Название изобретения: СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(57) Abstract: The invention relates to sonar technology and can be used for studying the bottom of bodies of water. The claimed method includes generating a polyharmonic beam of ultrasonic signals in a body of water. Once acoustic contact has been established with a region of an illuminated interface, a multi-component sonar antenna of an interferometric side-scan sonar system is used to receive echo signals from a wedge-shaped strip of the illuminated surface, and an echo sounder is used to receive echo signals from a region of the illuminated interface with elementary point scatterers of the relief in a range of angles that encompass projections of the main lobe of a radiation pattern onto the bottom of the body of water. The readings of the interferometric side-scan sonar system and the echo sounder are converted into electrical signals. The method then entails isolating information signals in the receive paths of the apparatus, obtaining results for selected regions of the interface along the direction of travel of the source vessel, processing signals on harmonics having frequencies of nf , and recording and documenting said signals. The claimed device comprises two measuring channels, the first of which comprises an interferometer including a transmitting path and a receiving path comprised of two receiving antennae connected in parallel, and the second measuring channel is configured in the form of an echo sounder.

(57) Реферат: Изобретение относится к гидроакустической технике и может быть использовано для просмотра дна и водных акваторий. Способ включает генерирование в водной среде полигармонического пучка ультразвуковых сигналов. После установления акустического контакта с участком облучаемой границы раздела с помощью многоэлементной гидроакустической антенны интерференционного гидролокатора бокового обзора (ИГБО) осуществляют прием эхосигналов от клиновидной полоски облучаемой поверхности, а с помощью эхолота осуществляют прием эхосигналов с участка облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа в диапазоне углов, охватываемых проекцией основного лепестка характеристики направленности на донную поверхность. Преобразуют показания ИГБО и эхолота в электрические сигналы. Выделяют в приемных трактах аппаратуры информационные сигналы, получают результаты для выбранных участков границы раздела по направлению движения судна-носителя, обрабатывают сигналы на гармониках с частотами nf , регистрируют и документируют. Устройство содержит два измерительных канала, первый из которых содержит интерферометр, включающий в себя излучающий тракт, и приемный тракт из параллельно соединенных двух приемных антенн, а второй измерительный канал выполнен в виде эхолота.

WO 2021/256948 A1

SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована:

— с отчётом о международном поиске (статья 21.3)

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

5

Область техники

Изобретение относится к гидроакустической технике и может быть использовано при конструировании гидроакустических систем, в частности, при разработке интерференционных гидролокаторов бокового обзора, используемых для просмотра дна и водных акваторий.

10

Предшествующий уровень техники

Определение рельефа морского дна при его картографировании и изучении геологической структуры является одной из задач океанографии. Появление и широкое распространение эхолотов позволило вести неконтактно непрерывные замеры глубин во время движения судна и регистрировать

15 профиль морского дна на больших протяжениях, осуществляя двумерное измерение глубин. В настоящее время при записи глубины океанского дна и его рельефа используются взаимно дополняющие друг друга устройства для гидролокационного картирования.

Список сокращений, используемых в описании:

20

1. ИГБО - интерференционный гидролокатор бокового обзора.

2. МПГА - многоэлементная приемоизлучающая гидроакустическая антенна.

3. ЭАП - электроакустический преобразователь.

4. УЗ – ультразвуковой.

25

5. ХН - характеристика направленности.

6. ГБО - гидролокатор бокового обзора.

7. МГА - многоэлементная гидроакустическая антенна (приемная или излучающая).

9. ПВУ - поворотно-выдвижное устройство.

Известен метод эхолотирования, служащий цели неконтактного измерения глубины моря, (см. Богородский А. В., Яковлев Г. В., Корепин Е. А., Должков А. К. Гидроакустическая техника исследования и освоения океана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. -263 с. Часть 1. Гидроакустические методы исследования океана. Глава 2. Методы, лежащие в основе систем для исследования и освоения океана §2.1 Метод эхолотирования, стр.27-30), в процессе развития которого появилась возможность получения информации о такой характеристике как рельеф морского дна. Физическую основу метода определяют как явление практически прямолинейного распространения УЗ при малых углах падения, так и взаимосвязь энергетических и спектральных параметров отраженных сигналов от донной поверхности. Определение глубины Z основано на измерении интервала времени $\tau_r = 2z/c$ (где c - скорость звука в водной среде) между приемом отраженного сигнала $S_{\Sigma}(t)$ и некоторым контрольным сигналом, определяющим момент посылки зондирующего импульса $S(t)$. Данный метод эхолотирования, а также устройства (см. Евтютов А. П., Колесников А. Е., Ляликов А. П. и др. Справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение, 1982. - 334 с. Глава 1. Гидроакустические средства §1.6 Гидроакустические средства судовождения, стр.26-27), его реализующие и снабженные МПГА, - имеют недостатки и ограничения в применении в связи со следующим:

1) на точность и достоверность данных при батиметрической съемке оказывает большое влияние уровень боковых лепестков ХН МПГА: при наличии уклонов дна и сильно расчлененном рельефе возможна ситуация, когда первый эхосигнал придет от точки, не находящейся непосредственно под судном, а амплитуда эхосигнала, принятого боковыми лепестками, может быть сопоставима с амплитудой эхосигнала, принятого основным лепестком;

2) пространственная избирательность МПГА эхолота оказывает существенное влияние на точность и достоверность данных о подводной обстановке, в частности, за счет формы и размеров «облучаемой» УЗ области донной поверхности, что в свою очередь определяется волновыми размерами

5 апертуры МПГА в азимутальной (φ) и угломестной (θ) плоскостях;

3) угловая ширина основного лепестка ХН МПГА устройства определяет точность определения планового положения глубины морского дна под судном-носителем, задавая оптимальный размер пятна на дне, которое подвергается УЗ облучению, причем, результатом выполнения затратно-
10 временных операций метода будет точное определение глубин только непосредственно на конкретной трассе движения судна-носителя, т.е. получение двумерной картины подводного рельефа морского дна.

Известен способ бокового обзора, позволяющий вести запись рельефа морского дна в трех измерениях (см. Простаков А.Л. Электронный ключ к
15 океану: гидроакустическая техника сегодня. Глава 5. Гидроакустические средства изучения Мирового океана. § 20. Гидролокаторы бокового обзора, стр.97 – 110, Л.: Судостроение, 1978г. - 192 с) и устройство для гидролокационного картирования, реализующее данный метод (см. Евтютов А. П., Колесников А. Е., Ляликов А. П. и др. Справочник по гидроакустике. Л.:
20 Судостроение, 1982. - 334 с. Глава 1. Гидроакустические средства §1.7 Гидроакустические средства обеспечения океанографических исследований, стр.30-31). Метод бокового обзора дает тонкие детали некоторых донных форм, так как осуществляется регистрация каждого из УЗ эхосигналов от многочисленных элементов рельефа дна, находящихся на разных расстояниях,
25 причем, в движении промеры происходят в трех измерениях, однако, интерпретация и «расшифровка» полученных данных достаточно трудоемка. Получаемое с помощью метода бокового обзора гидролокационное изображение позволяет достаточно точно измерить лишь расстояние до объекта поиска или интересующего участка дна, а по теневой характеристике
30 можно определить высоту отдельных объектов или неровностей дна. Метод

бокового обзора, служащий цели неконтактного измерения рельефа донной поверхности моря, имеет следующие недостатки и ограничения в применении:

1) разрешающая способность метода по углу в азимутальной плоскости (φ) ухудшается с расстоянием, так как увеличивается угловая ширина основного лепестка ХН МПГА: чем дальше распространяется зондирующий импульс, тем больше площадь, которую захватывает пространственный угол, что меняет качество гидролокационного изображения подводных объектов на разных дистанциях;

2) разрешающая способность по дальности не одинакова в полосе обзора и непосредственно под судном-носителем локационного устройства ухудшается, причем, неровности рельефа дна увеличивают ширину «мертвой зоны», т.е. точность отображения рельефа не является стабильной величиной и зависит от дистанции;

3) метод бокового обзора на практике реализуется посредством применения некогерентных локационных систем, в которых фаза эхосигнала не сохраняется от импульса к импульсу и не используется для интегрирования, а в качестве информативного параметра эхосигнала от объекта используется только амплитуда, таким образом, за счет потери информации неосуществимо отображение рельефа с различной точностью.

В качестве ближайшего аналога выбран способ бокового обзора, включающий амплитудно-фазовую обработку когерентных эхосигналов с помощью интерференционного канала, позволяющий за счет этого более продуктивно вести запись рельефа морского дна в широкой полосе обзора и определять координаты объектов, находящихся во взвешенном состоянии (см. Stubbs A. R., McCartney B.S., Legg J.G. Telesounding, a method of wide swathe depth measurement. International Hydrographic Review.- Monte Carlo, 1974, vol.51, №1, P.23-59) и устройство для гидролокационного картирования (ИГБО), реализующее данный метод (патент №2623830 РФ G01S 17/02, опубли. 29.06.2017).

Использование указанного способа предполагает выполнение следующей последовательности операций:

1) выбор рабочей частоты f , формы, размеров и конструкции МГА(МПГА) из условия получения требуемой формы ХН за счет
5 интерференции в водной среде УЗ колебаний:

- для ИГБО - специальной формы основного лепестка ХН МГА – узкого в азимутальной (φ) ($1^0 - 3^0$, продольный размер апертуры МГА от 10λ до 50λ) и широкого в угломестной (θ) ($10^0 - 20^0$, поперечный размер апертуры МГА $\sim$ от 2λ до 5λ) плоскостях соответственно,

10 - и для эхолота - осесимметричной формы основного лепестка ХН МПГА, у которого угловая ширина одинакова как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ) плоскостях соответственно;

2) размещение на подводной части ПВУ надводного судна необходимого количества МГА (МПГА):

15 для ИГБО - трех одинаковых МГА по одному (левому или правому) борту продольными размерами апертуры как в азимутальной плоскости (φ), так и вдоль направления движения судна - носителя для обеспечения параллельно-смещенного пространственного расположения их акустических осей в одной плоскости импульсного акустического зондирования, из трех
20 МГА - одна излучающая и две приемные, фазовые центры двух приемных МГА ИГБО разнесены на расстояние $D = \lambda$, равное базе интерферометра, где $\lambda = c/f$ - длина волны, c - скорость звука в воде, f - частота УЗ сигнала, излучающая МГА ИГБО расположена в средней точке его базы,

- и для эхолота – МПГА расположена на минимально возможном
25 расстоянии от средней точки базы и ее акустическая ось также лежит в той же плоскости импульсного акустического зондирования, причем, все МГА (МПГА) состоят из совокупности ЭАП, соединенных кабелем с аппаратурой, и снабженных узлами экранировки, гидро-, электро- и шумоизоляции;

3) регулировка пространственного расположения акустических осей всех МГА (МПГА) как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ) плоскостях, что обеспечивает облучение обследуемой границы раздела:

- акустические оси всех четырех МГА(МПГА) лежат в плоскости импульсного акустического зондирования, которая перпендикулярна как к борту, так и к облучаемой поверхности, совпадая с угломестной (θ) плоскостью, причем, акустические оси трех МГА ИГБО наклонно направлены в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя, образуя антенную систему интерферометра, для которого величина полезного вертикального сектора рабочих углов α визирования, в пределах которого осуществляется однозначное измерение разности фаз $\Delta\varphi$ узкополосных эхосигналов, принятых каждой из МГА ИГБО с малой базой D , определяется соотношением $\Delta\varphi = kD \sin \alpha$, откуда $\alpha = \arcsin(\Delta\varphi/kD)$ или для малых углов $\alpha = \Delta\varphi/[2\pi(D/\lambda)]$; а акустическая ось МПГА эхолота направлена в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя и совпадает с нормалью к ней;

4) генерирование в излучающих трактах аппаратуры - в частности, в генераторных устройствах ИГБО или эхолота (по выбору оператора) - электрических колебаний и их кодирование – преобразование в кратковременные амплитудно-импульсные модулированные колебания, огибающая которых повторяет форму кратковременных импульсов прямоугольной формы с малым временем нарастания фронта, а посылка содержит в себе несущую частоту f ;

5) преобразование с помощью ЭАП излучающей МГА ИГБО или МПГА эхолота, закрепленных на ПВУ выбранного борта судна-носителя кодированных электрических колебаний в кратковременные периодические посылки УЗ волн с необходимой длительностью, которые распространяются в направлении облучаемой поверхности;

6) установление акустического контакта с участком облучаемой границы раздела, что обуславливает отражение посылок УЗ волн:

- для ИГБО – с клиновидной полоской облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа (слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя), что обусловит
5 рассеяние УЗ волн во всех направлениях, часть вернется обратно к двум приемным МГА ИГБО, которые осуществляют прием эхосигналов в диапазоне углов θ , охватываемых проекциями их ХН на плоскость импульсного акустического зондирования, т.е. в вертикальном секторе рабочих углов α
10 визирования ИГБО,

и для эхолота – с участком облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа (слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя), что обусловит рассеяние УЗ волн во всех направлениях, часть вернется обратно к МПГА, которая осуществляет
15 прием эхосигналов в диапазоне углов θ , охватываемых проекцией основного лепестка ХН на плоскость импульсного акустического зондирования;

7) преобразование с помощью ЭАП МГА(МПГА) в режиме приема отраженных УЗ волн в электрические сигналы:

- для ИГБО - амплитудно-фазовой структуры результирующего поля
20 звукового давления, полученного при наложении когерентных рассеянных УЗ волн в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности, в интерференционную картину, соответствующую минимумам и максимумам пространственного перераспределения амплитуд,

25 и для эхолота - амплитуды эхосигнала, пришедшего по кратчайшему расстоянию от точечных отражателей на участке облучаемой поверхности;

8) выделение в приемных трактах аппаратуры амплитуд информационных сигналов, полученных при отражении от выбранных участков границы раздела,

- для ИГБО – интерференционной картины, соответствующей распределению точечных рассеивателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности облучаемой поверхности;

5 - и для эхолота – от ближайшего участка облучаемой поверхности, что позволяет оценить его удаленность и отражательную способность;

отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрация и документирование в аппаратуре:

- для эхолота - измерение кратчайшего расстояния $Z_{\text{Э}}$ от середины базы до рассеивающей поверхности;

10 - для ИГБО:

а) измерение по интерференционной картине расстояний между нулевой линией, соответствующей середине базы приемных МГА, и серединами интерференционных полос, соответствующих точкам рассеяния принятых эхосигналов на клиновидной полоске облучаемой поверхности, которые
15 пропорциональны удалению этих точек рассеяния от середины базы приемных МГА;

б) определение с помощью масштабной линейки наклонных дальностей r_i точек рассеяния эхо-сигналов до середины базы приемных МГА;

в) определение расстояния z_i каждой i -ой точки рассеяния от
20 облучаемой поверхности относительно горизонтальной плоскости, проходящей через середину базы приемных МГА, по формуле $z_i = r_i(i\lambda)/D$, где $i = 1, 2, 3, \dots$ - номер интерференционной полосы, отсчитываемый от нулевой линии на интерференционной картине, соответствующей моменту излучения зондирующего сигнала, λ - длина волны принимаемого эхосигнала;

г) определение вертикальных расстояний $x_i = r_i \sqrt{1 - (i\lambda/D)^2}$ от середины базы приемных МГА до каждой i -той точки рассеяния поверхности;

д) построение профиля рельефа узкой, но протяженной полосы облучаемой поверхности в плоскости xOy относительно уровня $Z = Z_{\text{э}}$ в
 5 данном цикле зондирования для диапазона глубин, соответствующих диапазону углов θ , охватываемых основными лепестками ХН приемных МГА ИГБО с использованием полученных выше данных;

10 10) проведение измерений для следующих участков облучения на границе раздела, за счет как движения по заданному курсу судна-носителя, так и выполнения пунктов 4 -10 последовательности операций, что обеспечит получение ансамбля из профилей рельефов, которые используют для построения его трехмерной формы.

Данный способ и устройство, его реализующее, имеют следующие недостатки и ограничения в применении:

15 1) при интерференции волн квадрат амплитуды A колебаний поля в данной точке не равен сумме квадратов амплитуд суммирующихся волн, т.е.

для двух волн с амплитудами A_1 и A_2 -

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$
 или через интенсивность

колебаний $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$, где $(\varphi_2 - \varphi_1)$ -
 20 разность фаз между волновыми процессами в рассматриваемой точке. Если

колебания синфазны, т.е. фазы φ_1 и φ_2 одинаковы или отличаются на четное число π , то интенсивность I максимальна и равна

$$I_{\text{max}} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2$$
, если же колебания противофазны, т.е. фазы φ_1 и φ_2 отличаются на нечетное число π , то получается минимальная

интенсивность - $I_{\min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2$. Интенсивность I периодически
 5 меняется вдоль оси x от нуля до максимального значения $I_{\max} = 4I_1$ в
 соответствии с соотношением $I = 2I_1[1 + \cos(2\pi \cdot \alpha \cdot x/\lambda)]$, где
 $\alpha \approx D/r$ - угол схождения интерферирующих лучей, т.е. угол, под которым
 10 из точки на рассеивающей поверхности с удалением r наблюдается база D
 приемных антенн, пространственный период изменения интенсивности
 $\Delta x = \lambda/\alpha$ есть размер ширины как интерференционной полосы, так и
 зазора между ними. Таким образом, разрешающая способность регистратора
 (индикатора) интерференционной картины в интерферометре зависит от длины
 15 волны λ , получаемая информация представлена «квантовано»: максимумы
 (эхосигналы в данном направлении усилили друг друга и информация
 представлена) и минимумы (эхосигналы в данном направлении ослабили друг
 друга и информация потеряна), что осложняет регистрацию эхосигналов от
 тонких деталей элементов рельефа дна, находящихся на разных расстояниях,
 20 затрудняя интерпретацию и «расшифровку» полученных данных;

2) в интерферометрических системах дискретные «лучи» физически не
 формируются – фазовая информация со всех направлений принимается и
 обрабатывается одновременно, интерферометрия отличается от стандартного
 формирования лучей тем, что «лучи» создаются сигнальным процессором из
 20 данных, хранящихся в буфере приемника. Однако недостатком данной системы
 является возникновение неоднозначности измерений интерференционной
 разности фаз при обследовании шельфовых зон морских акваторий с
 подводным горным рельефом (резкие скачки и перепады глубин), что
 проявляется в виде разрывов данного информационного параметра и может
 25 являться следствием недостаточности объема первичных данных. Между тем,
 повышение качества выполнения батиметрической съемки поверхности
 сложной структуры с регулируемой точностью отображения рельефа можно
 осуществить за счет увеличения количества дискретных «промерных лучей»,

т.е. изменения плотности размещения интерференционных максимумов на плоскости апертур ЭАП МГА ИГБО, каждому из которых соответствует дискретный «луч», причем, как следует из $\Delta x = \lambda / \alpha = \lambda r / D$ пространственный период изменения интенсивности прямо пропорционален

5 длине волны λ используемого УЗ сигнала;

3) известно соотношение, позволяющее рассчитать среднеквадратическое отклонение $\delta_{z\hat{\phi}}$ оценки ординат рельефа рассеивающей поверхности (см. Болдинов Р.О., Баскаков А.И., Скняря А.В. Потенциальная точность ИГБО //Вестник МЭИ, 2016, №3, С.66-77)\

$$\delta_{z\hat{\phi}} = \frac{\lambda H \sin(\alpha_1)}{2\pi D \times \cos(\alpha_1) \sin(\alpha_1 + \beta)} \times \frac{1}{\sqrt{2N}} \times \frac{\sqrt{1 - \gamma^2}}{\gamma},$$

10

где λ - длина волны УЗ сигнала в водной среде, H - глубина, α_1 - угол визирования, β - угол отклонения базы от вертикали, D - база интерферометра, N - кратность некогерентного накопления, γ - коэффициент корреляции между двумя акустическими изображениями

15 (интерферометрической парой). Из формулы следует, что потенциальная точность измерения рельефа донной рассеивающей поверхности прямо пропорциональна длине волны УЗ сигнала, причем, при использовании УЗ с меньшей длиной волны данный параметр ИГБО можно улучшить;

4) в прототипе измеряют с помощью МПГА эхолота, размещенной

20 вместе с МГА ИГБО на ПВУ, которое закреплено на борту судна-носителя, кратчайшее расстояние Z_{Σ} от середины базы до рассеивающей поверхности. Пространственная избирательность МПГА эхолота (величина угловой ширины основного лепестка ХН) оказывает существенное влияние как на точность, так и достоверность данных о сложном рельефе «облучаемой» области

25 рассеивающей поверхности. Так, точность раздельного пеленгования соседних

деталей расчлененного рельефа характеризуют величиной угла $\Delta\theta$, который для максимального метода пеленгования определяется соотношением

$\Delta\theta = 0,6 \cdot \sqrt{\mu} \cdot \theta_{0,7}$, где μ - коэффициент, величина которого при использовании оператором визуального индикатора, составляет (0,05- 0,15);

- 5 для слухового индикатора - $\geq 0,2$ (см. Кобяков Ю.С., Кудрявцев Н.Н., Тимошенко В.И. Конструирование гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. – Л.: Судостроение, 1986. – 272 с. Глава 8 Параметры аппаратуры в режиме приема. §8.1 Методы и характеристики пеленгования в режиме приема, с. 129 – 133). Однако в прототипе не предусмотрена возможность
10 изменения угловой ширины основного лепестка ХН антенны эхолота, что также снижает точность измерений.

Признаки, совпадающие с заявляемым способом:

- 1) выбор рабочей частоты f , формы, размеров и конструкции МГА(МПГА) из условия получения требуемой формы ХН за счет
15 интерференции в водной среде УЗ колебаний:

- для ИГБО - специальной формы основного лепестка ХН МГА – узкого в азимутальной (φ) ($1^0 - 3^0$, продольный размер апертуры МГА от 10λ до 50λ) и широкого в угломестной (θ) ($10^0 - 20^0$, поперечный размер апертуры МГА $\sim$ от 2λ до 5λ) плоскостях соответственно,

- 20 - и для эхолота - осесимметричной формы основного лепестка ХН МПГА, у которого угловая ширина одинакова как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ) плоскостях соответственно;

2) размещение на подводной части ПВУ надводного судна необходимого количества МГА (МПГА):

- 25 - для ИГБО - трех одинаковых МГА по одному (левому или правому) борту продольными размерами апертуры как в азимутальной плоскости (φ), так и вдоль направления движения судна - носителя для обеспечения

параллельно-смещенного пространственного расположения их акустических осей в одной плоскости импульсного акустического зондирования, из трех МГА - одна излучающая и две приемные, фазовые центры двух приемных МГА ИГБО разнесены на расстояние $D = \lambda$, равное базе интерферометра, где
 5 $\lambda = c/f$ - длина волны, c - скорость звука в воде, f - частота УЗ сигнала, излучающая МГА ИГБО расположена в средней точке его базы,

- и для эхолота – МПГА расположена на минимально возможном расстоянии от средней точки базы и ее акустическая ось также лежит в той же плоскости импульсного акустического зондирования, причем, все МГА
 10 (МПГА) состоят из совокупности ЭАП, соединенных кабелем с аппаратурой, и снабженных узлами экранировки, гидро-, электро- и шумоизоляции;

3) регулировка пространственного расположения акустических осей всех МГА (МПГА) как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ) плоскостях, что обеспечивает облучение обследуемой границы раздела:

15 - акустические оси всех четырех МГА (МПГА) лежат в плоскости импульсного акустического зондирования, которая перпендикулярна как к борту, так и к облучаемой поверхности, совпадая с угломестной (θ) плоскостью, причем, акустические оси трех МГА ИГБО наклонно направлены в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя, образуя антенную
 20 систему интерферометра, для которого величина полезного вертикального сектора рабочих углов α визирования, в пределах которого осуществляется однозначное измерение разности фаз $\Delta\varphi$ узкополосных эхосигналов, принятых каждой из МГА ИГБО с малой базой D , определяется соотношением $\Delta\varphi = kD \sin \alpha$, откуда $\alpha = \arcsin(\Delta\varphi/kD)$ или
 25 для малых углов $\alpha = \Delta\varphi/[2\pi(D/\lambda)]$, а акустическая ось МПГА эхолота направлена в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя и совпадает с нормалью к ней;

4) генерирование в излучающих трактах аппаратуры электрических колебаний и их кодирование – преобразование в кратковременные амплитудно-импульсные модулированные колебания, огибающая которых повторяет форму кратковременных импульсов прямоугольной формы с малым временем нарастания фронта, а посылка содержит в себе несущую частоту f ;

5) преобразование с помощью ЭАП излучающей МГА ИГБО или МПГА эхолота, закрепленных на ПВУ выбранного борта судна-носителя кодированных электрических колебаний в кратковременные периодические посылки УЗ волн с необходимой длительностью в направлении облучаемой поверхности;

6) установление акустического контакта с участком облучаемой границы раздела, что обуславливает отражение посылок УЗ волн:

- для ИГБО - с клиновидной полоской облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа (слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя), что обусловит рассеяние УЗ волн во всех направлениях, часть вернется обратно к двум приемным МГА ИГБО, которые осуществляют прием эхосигналов в диапазоне углов θ , охватываемых проекциями их ХН на плоскость импульсного акустического зондирования, т.е. в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО,

и для эхолота – с участком облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа (слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя), что обусловит рассеяние УЗ волн во всех направлениях, часть вернется обратно к МПГА, которая осуществляет прием эхосигналов в диапазоне углов θ , охватываемых проекцией основного лепестка ХН на плоскость импульсного акустического зондирования;

7) преобразование с помощью ЭАП МГА (МПГА) в режиме приема отраженных УЗ волн в электрические сигналы:

- для ИГБО, амплитудно-фазовой структуры результирующего поля звукового давления, полученного при наложении когерентных рассеянных УЗ волн в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности, в
5 интерференционную картину, соответствующую минимумам и максимумам пространственного перераспределения амплитуд,

и для эхолота - амплитуды эхосигнала, пришедшего по кратчайшему расстоянию от точечных отражателей на участке облучаемой поверхности;

8) выделение в приемных трактах аппаратуры амплитуд
10 информационных сигналов, полученных при отражении от выбранных участков границы раздела,

- для ИГБО – интерференционной картины, соответствующей распределению точечных рассеивателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности;

15 - и для эхолота – от ближайшего участка облучаемой поверхности;

отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрация и документирование в аппаратуре:

- для эхолота - измерение кратчайшего расстояния $Z_{\text{Э}}$ от середины базы до рассеивающей поверхности;

20 - для ИГБО –

а) измерение по интерференционной картине расстояний между нулевой линией, соответствующей середине базы приемных МГА, и серединами интерференционных полос, соответствующих точкам рассеяния принятых эхосигналов на клиновидной полоске облучаемой поверхности, которые
25 пропорциональны удалению этих точек рассеяния от середины базы приемных МГА;

б) определение с помощью масштабной линейки наклонных дальностей r_i точек рассеяния эхо-сигналов до середины базы приемных МГА;

в) определение расстояния z_i каждой i -ой точки рассеяния от облучаемой поверхности относительно горизонтальной плоскости, проходящей через середину базы приемных МГА, по формуле $z_i = r_i(i\lambda)/D$, где $i = 1, 2, 3, \dots$ - номер интерференционной полосы, отсчитываемый от нулевой линии на интерференционной картине, соответствующей моменту излучения зондирующего сигнала, λ - длина волны принимаемого эхосигнала;

г) определение вертикальных расстояний $x_i = r_i \sqrt{1 - (i\lambda/D)^2}$ от середины базы приемных МГА до каждой i -той точки рассеяния поверхности;

д) построение профиля рельефа узкой, но протяженной полосы облучаемой поверхности в плоскости xOy относительно уровня $z = z_э$ в данном цикле зондирования для диапазона глубин, соответствующих диапазону углов θ , охватываемых основными лепестками ХН приемных МГА ИГБО. с использованием полученных выше данных;

10) проведение измерений для следующих участков облучения на границе раздела, за счет как движения по заданному курсу судна-носителя, так и выполнения пунктов 4 -10 последовательности операций, что обеспечит получение ансамбля из профилей рельефов, которые используют для построения ее трехмерной формы.

Признаки, совпадающие с заявляемым устройством: генератор, коммутатор, гидроакустическая антенна, усилитель, детектор, индикатор, блок управления.

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является создание способа многочастотной интерферометрии для формирования УЗ изображения донной поверхности, и реализующего его устройства, позволяющего выполнять батиметрическую

съемку рельефа поверхности с необходимой точностью за счет регулировки плотности выполняемых промеров глубин.

Технический результат изобретения заключается в повышении точности и достоверности гидроакустического отображения донной поверхности за счет
5 регистрации и визуализации рассеянных УЗ полей кратных частот, формирующихся в водной среде вследствие нелинейного эффекта самовоздействия.

Технический результат достигается тем, что в способ бокового обзора, дополненный интерференционным каналом для амплитудно-фазовой
10 обработки когерентных эхосигналов, включающий в себя:

1) выбор рабочей частоты f , формы, размеров и конструкции МГА из условия получения требуемой формы ХН за счет интерференции в водной среде УЗ колебаний:

- для ИГБО - специальной формы основного лепестка ХН МГА –
15 узкого в азимутальной (φ) ($1^0 - 3^0$, продольный размер апертуры МГА от 10λ до 50λ) и широкого в угломестной (θ) ($10^0 - 20^0$, поперечный размер апертуры МГА $\sim$ от 2λ до 5λ) плоскостях соответственно,

- и для эхолота - осесимметричной формы основного лепестка ХН МПГА, у которого угловая ширина одинакова как в азимутальной (φ), так и в
20 угломестной (θ) плоскостях соответственно;

2) размещение на подводной части ПВУ надводного судна необходимого количества МГА:

- для ИГБО - трех одинаковых МГА по одному (левому или правому) борту продольными размерами апертуры как в азимутальной плоскости (φ),
25 так и вдоль направления движения судна - носителя для обеспечения параллельно-смещенного пространственного расположения их акустических осей в одной плоскости импульсного акустического зондирования, из трех МГА - одна излучающая и две приемные, фазовые центры двух приемных

МГА ИГБО разнесены на расстояние $D = \lambda$, равное базе интерферометра, где $\lambda = c/f$ - длина волны, c - скорость звука в воде, f - частота УЗ сигнала, излучающая МГА ИГБО расположена в средней точке его базы,

5 - и для эхолота – МПГА расположена на минимально возможном расстоянии от средней точки базы таким образом, чтобы ее акустическая ось была расположена в той же плоскости импульсного акустического зондирования,

3) регулировка пространственного расположения акустических осей всех МГА (МПГА) как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ)
10 плоскостях, что обеспечивает облучение обследуемой границе раздела:

- акустические оси всех четырех МГА (МПГА) лежат в плоскости импульсного акустического зондирования, которая перпендикулярна как к борту, так и к облучаемой поверхности, совпадая с угломестной (θ) плоскостью, причем, акустические оси трех МГА ИГБО наклонно направлены
15 в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя, образуя антенную систему интерферометра, для которого величина полезного вертикального сектора рабочих углов α визирования, в пределах которого осуществляется однозначное измерение разности фаз $\Delta\varphi$ узкополосных эхосигналов, принятых каждой из МГА ИГБО с малой базой D , определяется
20 соотношением $\Delta\varphi = kD \sin \alpha$, откуда $\alpha = \arcsin(\Delta\varphi/kD)$ или для малых углов $\alpha = \Delta\varphi/[2\pi(D/\lambda)]$; а акустическая ось МПГА эхолота направлена в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя и совпадает с нормалью к ней;

4) генерирование в излучающих трактах аппаратуры электрических
25 колебаний и их кодирование – преобразование в кратковременные амплитудно-импульсные модулированные колебания, огибающая которых повторяет форму

кратковременных импульсов прямоугольной формы с малым временем нарастания фронта, а посылка содержит в себе несущую частоту f ;

5) преобразование с помощью ЭАП излучающей МГА ИГБО или МПГА эхолота, закрепленных на ПВУ выбранного борта судна-носителя кодированных электрических колебаний в кратковременные периодические посылки УЗ волн с необходимой длительностью, которые распространяются в направлении облучаемой поверхности;

б) установление акустического контакта с участком облучаемой границы раздела, что обуславливает отражение посылок УЗ волн:

10 - для ИГБО - с клиновидной полоской облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа (слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя), что обусловит рассеяние УЗ волн во всех направлениях, часть вернется обратно к двум приемным МГА ИГБО, которые осуществляют прием эхосигналов в диапазоне углов θ , охватываемых проекциями их ХН на плоскость импульсного акустического зондирования, т.е. в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО,

и для эхолота – с участка облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа в диапазоне углов , охватываемых проекцией основного лепестка ХН на плоскость импульсного акустического зондирования;

7) преобразование с помощью ЭАП МГА в режиме приема отраженных УЗ волн в электрические сигналы:

25 - для ИГБО - амплитудно-фазовой структуры результирующего поля звукового давления, полученного при наложении когерентных рассеянных УЗ волн в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности, в интерференционную картину, соответствующую минимумам и максимумам пространственного перераспределения амплитуд,

и для эхолота - амплитуды эхосигнала, пришедшего по кратчайшему расстоянию от точечных отражателей на участке облучаемой поверхности;

8) выделение в приемных трактах аппаратуры амплитуд информационных сигналов, полученных при отражении от выбранных
5 участков границы раздела,

- для ИГБО – интерференционной картины, соответствующей распределению точечных рассеивателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности;

- и для эхолота – от ближайшего участка облучаемой поверхности, что
10 позволяет оценить его удаленность и отражательную способность;

9) отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрация и документирование в аппаратуре;

10) проведение измерений для следующих участков облучения на границе раздела, за счет как движения по заданному курсу судна-носителя, так
15 и выполнения пунктов 4 -10 последовательности операций, что обеспечит получение ансамбля из профилей рельефов, которые используют для построения ее трехмерной формы,

дополнительно введены следующие операции:

11) генерирование в водной среде полигармонического пучка УЗ
20 сигналов с частотами $f, 2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ – порядковый номер гармоники, за счет формирования параметрической излучающей антенны (ПИА), в объеме которой распределены нелинейные источники высших гармонических спектральных компонент (нелинейный эффект самовоздействия);

25 12) установление акустического контакта с участком облучаемой границы раздела, что обуславливает отражение спектральных компонент полигармонического пучка УЗ:

- для ИГБО - с клиновидной полоской облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями поверхности, что обусловит рассеяние УЗ волн во всех направлениях, часть вернется обратно к двум приемным МГА ИГБО, которые осуществляют прием эхосигналов кратных частот $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоник, в диапазоне углов θ , охватываемых проекциями их ХН на частотах nf на плоскость импульсного акустического зондирования, т.е. в вертикальном секторе рабочих углов $\alpha_{(nf)}$ визирования ИГБО,

и для эхолота – с участком облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа на УЗ сигналах с частотами $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоник, в диапазонах углов θ , охватываемых проекциями основных лепестков ХН в приеме на частотах nf на плоскость импульсного акустического зондирования;

13) преобразование с помощью ЭАП МГА в режиме приема отраженных УЗ волн в электрические сигналы:

- для ИГБО - амплитудно-фазовой структуры полигармонического поля звукового давления, полученного при наложении когерентных рассеянных волн на УЗ сигналах с частотами $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоник, в вертикальном секторе рабочих углов $\alpha_{(nf)}$ визирования ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности в n интерференционных картин, соответствующих минимумам и максимумам пространственного перераспределения амплитуд на частотах высших гармоник,

и для эхолота - амплитуды эхосигналов на частотах nf , пришедших по кратчайшему расстоянию от точечных отражателей на участке облучаемой поверхности;

14) выделение в приемных трактах аппаратуры амплитуд информационных сигналов, полученных при отражении от выбранных участков границы раздела,

- для ИГБО – n интерференционных картин, соответствующих
5 распределению точечных рассеивателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности для гармоник с частотами $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоники,;

- и для эхолота – от ближайшего участка облучаемой поверхности, что позволяет оценить его удаленность и отражательную способность на
10 гармониках с частотами nf ;

отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрация и документирование в аппаратуре:

- для эхолота - измерение кратчайшего расстояния Z_{Σ} от середины базы до рассеивающей поверхности на гармониках с частотами nf ;

15 - для ИГБО:

а) измерение по выбранной из n интерференционной картин расстояний между нулевой линией, соответствующей середине базы приемных МГА, и серединами интерференционных полос, соответствующих точкам рассеяния принятых эхосигналов облучаемой поверхности, которые пропорциональны
20 удалению этих точек рассеяния от середины базы приемных МГА;

б) по выбранной из n интерференционной картин определение с помощью масштабной линейки наклонных дальностей r_i точек рассеяния эхосигналов до середины базы приемных МГА;

в) определение расстояния Z_i каждой i -ой точки рассеяния от
25 облучаемой поверхности относительно горизонтальной плоскости, проходящей через середину базы приемных МГА, по формуле $Z_i = r_i(i\lambda)/D$, где $i =$

1,2,3,...- номер интерференционной полосы, отсчитываемый от нулевой линии на выбранной из n интерференционной картине, соответствующей моменту излучения зондирующего сигнала, λ - длина волны принимаемого эхосигнала;

- 5 г) по выбранной из n интерференционной картин определение вертикальных расстояний $x_i = r_i \sqrt{1 - (i\lambda/D)^2}$ от середины базы приемных МГА до каждой i -той точки рассеяния поверхности;

- д) построение профиля рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности в плоскости xOy относительно уровня $z = z_{\Sigma}$ в данном цикле зондирования для диапазона глубин, соответствующих диапазону углов θ , охватываемых основными лепестками ХН приемных МГА ИГБО. с использованием полученных выше данных;

- 16) проведение измерений для следующих участков облучения на границе раздела, за счет как движения по заданному курсу судна-носителя, так и выполнения пунктов 4 -10 из последовательности операций, что обеспечит получение ансамбля из профилей рельефов, которые используют для построения его трехмерной формы.

- Предпочтительно отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрация и документирование в аппаратуре осуществлять: для эхолота - измерение кратчайшего расстояния z_{Σ} от середины базы до рассеивающей поверхности;

- для ИГБО:

- а) измерение по интерференционной картине расстояний между нулевой линией, соответствующей середине базы приемных МГА, и серединами интерференционных полос, соответствующих точкам рассеяния принятых эхосигналов на клиновидной полоске облучаемой поверхности, которые

пропорциональны удалению этих точек рассеяния от середины базы приемных МГА;

б) определение с помощью масштабной линейки наклонных дальностей

r_i точек рассеяния эхо-сигналов до середины базы приемных МГА;

5 в) определение расстояния z_i каждой i -ой точки рассеяния от облучаемой поверхности относительно горизонтальной плоскости, проходящей через середину базы приемных МГА, по формуле $z_i = r_i(i\lambda)/D$, где $i = 1, 2, 3, \dots$ - номер интерференционной полосы, отсчитываемый от нулевой линии на интерференционной картине, соответствующей моменту излучения

10 зондирующего сигнала, λ - длина волны принимаемого эхосигнала;

г) определение вертикальных расстояний $x_i = r_i \sqrt{1 - (i\lambda/D)^2}$ от середины базы приемных МГА до каждой i -той точки рассеяния поверхности;

д) построение профиля рельефа в плоскости xOy относительно уровня $Z = Z_0$ в данном цикле зондирования для диапазона глубин, соответствующих диапазону углов θ , охватываемых основными лепестками ХН приемных МГА ИГБО. с использованием полученных выше данных;

Поставленная задача решается также устройством для реализации способа, которое содержит два измерительных канала: 1) интерферометр, включающий в себя излучающий тракт, состоящий из последовательно соединенных генераторного устройства, усилителя мощности и излучающей МГА, и приемный тракт из последовательно соединенных двух приемных МГА, двух звеньев по n параллельно включенных резонансных прямоусилительных устройств для частот nf , двух n - входных аналоговых ключей, фазового различителя, регистратора, устройства

определения номера i интерференционной полосы, вычислителя, устройства вычисления; программируемое устройства построения рельефа, устройства отображения; 2) эхолот, включающий в себя излучающий тракт, состоящий из последовательно соединенных импульсного генераторного устройства, усилителя мощности, коммутатора «прием-передача» и приемоизлучающую МГА, а также одно звено из n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств для частот nf , одного n - входового аналогового ключа и блока управления.

Предпочтительно ввести усилители в излучающие тракты интерферометра и эхолота, подключенные к генераторным устройствам.

Приемные тракты интерферометра и эхолота могут быть выполнены из звеньев, содержащих по n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств, настроенных на соответствующую спектральную составляющую $f, 2f, 3f, \dots, nf$ и n - входовых аналоговых ключей, а управляющие входы данных блоков соединены с соответствующими выходами блока управления.

Оптимально каждый ЭАП в МГА снабдить пьезоэлементом, элементами экранировки, гидро-, электро- и шумоизоляции.

Заявляемые способ и устройство связаны единым изобретательским замыслом и позволяют выполнять батиметрическую съемку поверхности сложной структуры с высокой точностью и достоверностью гидроакустического отображения рельефа донной поверхности за счет регулировки плотности выполняемых промеров глубин.

Краткое описание фигур чертежей

Заявляемый способ и устройство для его реализации поясняются следующими чертежами.

На фиг.1 представлена структурная схема устройства, реализующего способ. Структурная схема содержит два измерительных канала:

- 1) ИГБО 1, включающий в себя излучающий тракт, состоящий из последовательно соединенных генераторного устройства 2, усилителя мощности 3 и излучающей МГА 4, и приемный тракт из последовательно соединенных двух приемных МГА 5, 6, двух звеньев по n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств 7 для частот nf , двух n - входов аналоговых ключей 8, фазового различителя 9, регистратора 10, устройства определения номера i интерференционной полосы 11, вычислителя 12, устройства вычисления 13; программируемое устройство построения рельефа 14, устройство отображения 15;
- 2) эхолот 16, включающий в себя тракты: излучения - последовательно соединенные импульсное генераторное устройство 17, усилитель мощности 18, коммутатор 19 «прием-передача», приемоизлучающей МГА 20, приема и обработки - одного звена из n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств 21 для частот nf , одного n - входного аналогового ключа 22, устройства вычисления 13; программируемого устройства построения рельефа 14, устройства отображения 15 и блока управления 23.

На фиг.2 изображена схема, поясняющая способ, где в проекции на вертикальную плоскость изображены:

- 4, 5, 6, 20 – излучающая и приемные МГА ИГБО, МПГА эхолота соответственно;

D - база интерферометра в ИГБО;

O – средняя точка базы интерферометра в ИГБО;

l - геометрическая разность хода эхосигнала от некоторой точки

- $M_{i(nf)}$ поверхности дна до антенн интерферометра в ИГБО;

$r_{i(nf)}$ - наклонная дальность от базы интерферометра в ИГБО до точки
 $M_{i(nf)}$ поверхности дна;

$z_{i(nf)}$ - высота точки $M_{i(nf)}$ поверхности относительно
 горизонтальной плоскости, проходящей через среднюю точку базы
 5 интерферометра в ИГБО;

Θ - угол, отсчитываемый от оси ХН МГА А в вертикальной плоскости;

$\theta_{i(nf)}$ - угол скольжения;

$L_{i(nf)}$ - горизонтальная дальность от средней точки базы
 интерферометра в ИГБО до некоторой точки $M_{i(nf)}$.

10 На фиг.3 представлены в полярных координатах совокупность ХН двух
 приемных МГА 5, 6 для $D/\lambda = 1$ (частота f . —), 2 (частота $2f$, - - -),
 3 (частота $3f$, - • - • -), что поясняет особенности работы интерферометра 1
 в ИГБО и устройства, реализующего способ.

На фиг.4 для одного и того же по площади участка донной поверхности
 15 на сигналах кратных частот $f, 2f, 3f$ представлены в координатах
 «Наклонная дальность, м – Путевая дальность, м», три вида
 интерференционных картин, где горизонтальная ось, т.е. начало отсчета
 наклонной дальности, соответствует моменту излучения интерферометром 1
 зондирующего сигнала, а также расстояния $x_{1(f)}, x_{1(2f)}, x_{1(3f)}$ от
 20 горизонтальной оси до первых интерференционных полос, соответствующих
 наклонным дальностям $r_{1(f)}, r_{1(2f)}, r_{1(3f)}$ до соседних точек на этой
 площади донной поверхности.

На фиг.5 представлена экспериментальная сонограмма участка неровно-складчатой донной поверхности Бристольского канала. Путевая длина 1000 м, ширина 250 м, глубины (15-30) м.

Примеры предпочтительных вариантов осуществления изобретения

5 Заявляемые способ и устройство реализуются следующим образом.

Для формирования УЗ изображения донной поверхности сложной структуры на погруженной в воду части ПВУ размещены три МГА - одна излучающая 4 и две приемных 5, 6 интерферометра 1 в ИГБО, а также МПГА 20 эхолота 16, причем так, что их акустические оси находятся в одной плоскости импульсного акустического зондирования. Фазовые центры двух МПГА 5, 6 интерферометра 1 в ИГБО разнесены на расстояние $D = \lambda$, равное базе интерферометра, где $\lambda = c/f$ - длина волны, c - скорость звука в воде, f - частота УЗ сигнала. Излучающая МГА 4 интерферометра 1 в ИГБО расположена в средней точке его базы, а МПГА 20 эхолота 16 расположена на минимально возможном расстоянии от средней точки базы. В некоторый момент времени синхроимпульсом с выхода регистратора 10 запускают излучающий тракт интерферометра 1 ИГБО, состоящий из последовательно соединенных генераторного устройства 2, усилителя мощности 3 и излучающей МГА 4, которая излучает через водную среду в сторону рассеивающей донной поверхности мощный УЗ импульсный зондирующий сигнал (фиг.1, 2). Водная среда обладает нелинейностью своих упругих свойств, что приводит к возникновению при распространении импульса интенсивной ультразвуковой волны нелинейного эффекта – самовоздействия (см. Мюир Т.Дж. Нелинейная акустика и ее роль в геофизике морских осадков//Акустика морских осадков/ Пер. с англ.; Под ред. Ю. Ю. Житковского. – М.: Мир, 1977. – с. 227 – 273), который можно рассматривать как результат воздействия нелинейного изменения упругих свойств среды на характеристики мощного импульсного зондирующего сигнала накачки с частотой f в области распространения. Получение достоверной информации

о параметрах донной поверхности сложной структуры с помощью устройства для реализации способа обеспечивается применением для облучения не только сигнала накачки с частотой f , но и сформировавшихся в водной среде УЗ сигналов высокочастотного диапазона: - высших гармонических составляющих с частотами $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоники. Нелинейный эффект в УЗ поле позволяет разделить в пространстве процессы преобразования электрической энергии в УЗ (МГА 4) и формирования направленного излучения (участок водной среды, в котором взаимодействуют частотные составляющие спектра мощного УЗ импульса, соответствующие его тональному заполнению и огибающей). В водном объеме распределены нелинейные источники указанных выше акустических сигналов, в результате чего генерируются ВЧ (самовоздействие) УЗ сигналы в пределах небольших телесных углов при практически полном отсутствии бокового поля. Полигармонический зондирующий УЗ сигнал, содержащий спектральные составляющие с частотами $f, 2f, 3f, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i$ - порядковый номер гармоники, после распространения в водной среде достигает точек $M_{i(nf)}$ рассеяния на клиновидной полоске облучаемой донной поверхности в направлении перпендикулярном линии курса носителя, и отражается. После излучения зондирующего сигнала интерферометр 1 ИГБО переходит в режим приема рассеянных донной поверхностью эхосигналов. После приема эхосигнала от наиболее удаленной точки облученной полосы режим приема заканчивается, судно-носитель перемещается по курсу и интерферометр 1 ИГБО излучает в сторону дна очередной УЗ зондирующий импульс и т.д. Прием эхосигналов производится двумя разнесенными в вертикальной плоскости МПГА 5, 6. Первыми к антеннам приходят эхосигналы от наиболее близких точек поверхности, затем от все более удаленных точек облученной полосы дна. Все отраженные составляющие полигармонического УЗ сигнала несут амплитудную информацию об облучаемой границе раздела, позволяя на каждой указанной выше частоте судить об ее отражательной способности, причем, прием

- эхосигналов на две разнесенные в вертикальной плоскости МПГА 5, 6 обуславливает их интерференцию. С этой целью осуществляется преобразование с помощью ЭАП обеих МПГА 5, 6 амплитудно-фазовой структуры результирующего поля звукового давления, полученного при
- 5 наложении рассеянных полигармонических УЗ волн с частотами f , $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$ в вертикальном секторе рабочих углов α визирования интерферометра 1 ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности в электрические сигналы, соответствующие интерференционным неравномерностям пространственных распределений
- 10 амплитуд полигармонических УЗ волн с частотами $f, 2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$. Уровни каждого из электрических сигналов определяются ХН $R_{p.f}(\theta), R_{p.2f}(\theta), R_{p.3f}(\theta), \dots, R_{p.if}$ (фиг.3), а также чувствительностями $Y_f, Y_{2f}, Y_{3f}, \dots, Y_{if}$ в режиме приема МПГА 5, 6 для каждой из рассеянных границ раздела УЗ волн с указанными выше частотами колебаний. На фиг.3 представлены в полярных координатах
- 15 совокупность ХН двух МПГА 5, 6 для $D/\lambda = 1$ (частота f , —), $D/\lambda = 2$ (частота $2f$, - - -), $D/\lambda = 3$ (частота $3f$, - • - • -), что поясняет особенности работы интерферометра 1 ИГБО и устройства, реализующего способ. Из него видно, что для двух МПГА 5, 6 имеет место: 1) при $D/\lambda = 1$
- 20 (частота f , —) - один максимум, облучаемый сектор $\pm 15,3^\circ$, $\theta_{0,7(f)}$ $= 13,3^\circ$; 2) при $D/\lambda = 2$ (частота $2f$, - - -) - три максимума, облучаемые в каждом сектора $\pm 7,6^\circ$, $\theta_{0,7(2f)} = 6,64^\circ$; 3) $D/\lambda = 3$ (частота $3f$, - • - • -) - пять максимумов, облучаемые в каждом секторе $\pm 5^\circ$, $\theta_{0,7(3f)} = 4,43^\circ$, причем, добавочные 100% максимумы, расположенные под углом 90° к направлению
- 25 нормали к базе D также имеют меньшую угловую ширину. Отсюда следует

вывод о том, что дополнительное применение второй и третьей гармоник в устройстве позволяет увеличить результирующий измерительный сектор практически в 3,5 раза, равномерно перекрывая его 100% максимумами. Следует отметить, что повышение качества выполнения батиметрической

5 съемки поверхности сложной структуры с регулируемой точностью отображения рельефа можно осуществить в направлении совпадения всех трех центральных максимумов (фиг.3) за счет увеличения количества дискретных «промерных лучей», т.е. увеличения плотности размещения интерференционных максимумов на плоскости апертур ЭАП МГА 5, 6

10 интерферометра 1 ИГБО, каждому из которых соответствует дискретный «луч». Это следует из того, что пространственный период изменения интенсивности $\Delta x = \lambda / \alpha = \lambda r / D$ пропорционален длине волны λ используемого УЗ сигнала и применение гармоник может позволить выполнять батиметрическую съемку поверхности сложной структуры с различной

15 точностью отображения рельефа за счет регулировки плотности выполняемых промеров глубин. Итак, электрические сигналы, соответствующие интерференционным неравномерностям пространственных распределений амплитуд полигармонической УЗ волн с частотами $f, 2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, обрабатываются в приемном тракте интерферометра 1 ИГБО, включающем в

20 себя два звена по n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств 7 для частот nf , двух n - входных аналоговых ключей 8, фазового различителя 9, регистратора 10, устройства определения номера i интерференционной полосы 11, вычислителя 12, устройства вычисления 13; программируемого устройства построения рельефа

25 14, устройства отображения 15, для некоторых из них режим работы может определяться оператором (или автоматической системой принятия решений) через блок управления 23. На выходе интерферометра 1 ИГБО выделяется электрический сигнал, который на яркостном регистраторе 10 с растровой разверткой в координатах «Путевая дальность» - «Наклонная дальность» будет

30 наблюдаться как минимум одна из n интерференционных картин,

представляющая совокупность чередующихся темных и светлых полос (см. фиг.4). Как видно из фиг.4, для одной и той же площади облучаемой поверхности количество интерференционных полос для высших гармоник больше, что и обусловит увеличение получаемой информации о рельефе дна

5 (на высших гармониках интерференционные полосы «заполняют зазоры» между имеющимися максимумами для первой гармоники). Каждая интерференционная полоса на интерференционных картинах имеет свой номер, равный целому числу i длин волн $\lambda_{(nf)}$, характеризующих разность хода $l = i\lambda_{(nf)}$, причем, на выбранной интерференционной картине для частот f

10 или $2f$ или $3f$... или nf измеряют расстояния $x_{i(nf)}$ между нулевой линией, соответствующей середине базы МПГА 4, 5 и интерференционными полосами, соответствующим экосигналам от различных точек рассеяния на клиновидной полоске облучаемой поверхности (слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя). Расстояния $x_{i(nf)}$

15 пропорциональны соответствующим наклонным дальностям $r_{i(nf)}$ до точек рассеяния экосигнала от середины базы МПГА 4, 5 (наклонные дальности $r_{i(nf)}$ измеряют с помощью масштабной линейки). Наклонные дальности $r_{i(nf)}$ до точек $M_{i(nf)}$ поверхности связаны с высотой $z_{i(nf)}$ этой точки относительно горизонтальной плоскости, проходящей через среднюю точку

20 базы МПГА 4, 5 интерферометра 1 соотношением $z_{i(nf)} = r_{i(nf)} \sin \theta_{i(nf)}$.

В свою очередь $\sin \theta_{i(nf)} = 1/D = i\lambda_{(nf)}/D$, откуда $z_{i(nf)} = r_{i(nf)}(i\lambda_{(nf)})/D$. Горизонтальные дальности от середины базы МПГА 4, 5 до некоторой i -той точки рассеяния $M_{i(nf)}$ поверхности могут

- быть определены по формуле $L_{i(nf)} = r_{i(nf)} \sqrt{1 - (i\lambda_{(nf)})/D)^2}$. Таким образом, каждая из n интерференционных картин однозначно связана с рельефом донной поверхности и они могут быть использованы для определения высот и горизонтальных дальностей в широкой полосе обзора.
- 5 Для этого необходимо выбрать необходимую из n интерференционных картин, определить номера интерференционных полос i , измерить наклонные дальности $r_{i(nf)}$ и , по известному для данного интерферометра ИГБО соотношению $\lambda_{(nf)}/D$ выполнить расчеты по определению высот $z_{i(nf)}$ и горизонтальных дальностей $L_{i(nf)}$, используя указанные выше соотношения.
- 10 Для увеличения точности проводимых измерений предусмотрен еще один измерительный канал - эхолот 16, включающий в себя тракты: излучения - последовательно соединенные импульсное генераторное устройство 17, усилитель мощности 18, коммутатор 19 «прием-передача», приемоизлучающую МГА 20, а также приема и обработки эхосигналов
- 15 кратных частот $f, 2f, 3f, \dots if, \dots nf$ - одного звена из n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств 21 для частот nf , одного n - входового аналогового ключа 22, с выхода которого электрический сигнал пропорциональный величине $z_{i(nf)}$ подается на вход устройства вычисления 13 через программируемое устройство построения рельефа 14 на вход устройства отображения 15, функционирование эхолота 16 осуществляется оператором через блок управления 23.

В статье (Stubbs A. R., McCartney B.S., Legg J.G. Telesounding, a method of wide swathe depth measurement. International Hydrographic Review.- Monte Carlo, 1974, vol.51, №1, P.23-59), в которой описан метод-прототип, также есть

25 разделы с описаниями применяемого оборудования, в частности, многоэлементных гидроакустических антенн (МГА), и полученных

экспериментальных результатов (стр. 34 – 57). Итак, рабочая частота УЗ - 250 кГц, длина волны в воде 0,6 см, форма основного лепестка ХН МГА – узкий в азимутальной (φ) - (1^0) и широкий в угломестной (θ) - (35^0) плоскостях соответственно, выходная мощность 70 Вт, длительность импульса 0,4 мс, база интерферометра 20 см, максимальное количество «лучей» в пучке 33,8, угол наклона относительно горизонта 20^0 , выходной сигнал регистрировался на 11” Mufax wet paper recorder (sweep rate of 3 per second, recorder range 250 m). Проведем анализ информации, представленной на фиг.5 (стр.49) с подписью «Участок неровно-складчатой донной поверхности Бристольского канала.

Путевая длина 1000 м, ширина 250 м, глубины (15-30) м. Вверху – темная линия - запись излученной посылки, ниже – интенсивная темная линия – запись дна под судном-носителем, еще ниже - запись дна чуть в стороне от судна-носителя, далее идет достаточно большой участок без регистрируемых отражений, а вот за ним и следует основной информативный участок. На нем представлена типичная интерференционная картина: максимумы (светлые полосы) переходят в минимумы (темные полосы) и т.п. при удалении в сторону от судна-носителя, отличие от упорядоченной интерференционной картины в оптике состоит: 1) в «извивах или зигах» как светлых, так и темных полос, что обусловлено неровностью и складками, т.е. рельефом донной поверхности (в оптике для наблюдения интерференционной картины в виде черно-белого «пешеходного перехода» применяют ровный и плоский экран, нормаль к которому направлена в середину базы двух когерентных источников), 2) увеличивается ширина как светлых, так и темных полос, что обусловлено интерференцией эхосигналов от участков облучаемого дна, площади которых увеличиваются за счет дифракции УЗ при удалении вбок от судна-носителя. Таким образом, из рис.5 прототипа видно, что интенсивность I периодически меняется вдоль оси x от нуля до максимального значения $I_{\max} = 4I_1$ в соответствии с соотношением $I = 2I_1[1 + \cos(2\pi \cdot \alpha \cdot x/\lambda)]$, где $\alpha \approx D/r$ - угол схождения интерферирующих лучей, т.е. угол, под которым из точки на рассеивающей

поверхности с удалением r наблюдается база D приемных антенн, пространственный период изменения интенсивности $\Delta x = \lambda / \alpha$ есть размер ширины как интерференционной полосы, так и зазора между ними. Отсюда следует, что разрешающая способность регистратора интерференционной

5 картины зависит от длины волны λ , получаемая информация представлена «квантовано»: максимумы (эхосигналы в данном направлении усилили друг друга и информация представлена) и минимумы (эхосигналы в данном направлении ослабили друг друга и информация потеряна), что осложняет регистрацию эхосигналов от тонких деталей элементов рельефа дна,

10 находящихся на разных расстояниях, затрудняя интерпретацию и «расшифровку» полученных данных. Из экспериментальных данных, представленных в прототипе, и в частности, на фиг.5 следует, что недостатком данной системы является возникновение неоднозначности измерений интерференционной разности фаз при обследовании шельфовых зон морских

15 акваторий с подводным горным рельефом (резкие скачки и перепады глубин), что проявляется в виде разрывов данного информационного параметра и может являться следствием недостаточности объема первичных данных. Между тем, повышение качества выполнения батиметрической съемки поверхности сложной структуры с регулируемой точностью отображения рельефа можно

20 осуществить за счет увеличения количества дискретных «промерных лучей», т.е. изменения плотности размещения интерференционных максимумов на плоскости апертур ЭАП МГА ИГБО, каждому из которых соответствует дискретный «луч», причем, как следует из $\Delta x = \lambda / \alpha = \lambda r / D$ пространственный период изменения интенсивности прямопропорционален длине

25 волны λ используемого УЗ сигнала («уплотнение» интерференционных полос на сонограмме, можно выполнить за счет уменьшения длины волны λ , т.е. применения высших гармоник полигармонического зондирующего сигнала). Проведем расчеты по фиг.5 – ширина изображения всей сонограммы 12см (в эксперименте 250 м), выберем участок изображения на сонограмме,

30 соответствующий в эксперименте 100 м – это будет 4,8 см на фиг.5,

расположим этот участок в правом крае сонограммы (там, где наибольшая глубина под судном-носителем и большое количество интерференционных полос-«зигов»). На длине 4,8 см расположено 12 полос, пересчитаем в реальные размеры на дне – $100 \text{ м}/12 = 8,33 \text{ м}$. Это усредненное расстояние между серединами как минимумов, так и максимумов, причем, если рассмотреть две соседние светлые полосы (есть информация о поверхности), то они разделены темной полосой (нет информации о поверхности). Ширина темной полосы примерно равна двум полуширинам светлой полосы, отсюда усредненная величина участка донной поверхности с разрывом информационного параметра составляет около 4,2 м. Если же использовать высшие гармоники – вторую с частотой 500 кГц и третью с частотой 750 кГц, то будем иметь 2,1 м и 1,4 м соответственно. Таким образом, предлагаемый способ многочастотной интерферометрии для формирования УЗ изображения донной поверхности, и реализующее его устройство позволяют выполнять батиметрическую съемку рельефа поверхности с необходимой точностью за счет регулировки плотности выполняемых промеров глубин (см. фиг.4), причем, технический результат изобретения достигается за счет регистрации и визуализации рассеянных УЗ полей кратных частот, формирующихся в водной среде вследствие нелинейного эффекта самовоздействия.

Блоки 2 - 12 интерферометра 1 представляют собой типовые функциональные узлы стандартных интерферометрических ГБО, известные из общедоступных источников сведений (см. Барась С.Т. Исследование и разработка гидролокационного интерферометра для картографической съемки дна в широкой полосе обзора. Дис. канд техн. наук/ ОКБ «Риф», г. Бельцы 1981 210с., Stubbs A.R., McCartney B.S., Legg J.G. Telesounding. A method of wide swathe depth measurement – International Hydrographic Review. – Monte Carlo, 1974, vol.51, №1, p.23-59). Блоки 13 – 15 представляют собой электронные приборы, алгоритм работы которых реализован с помощью аналоговых и цифровых программируемых средств, например, в судовых многолучевых эхолотах, обеспечивающих построение 3Д изображений поверхности дна акваторий (см. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров. Нестор-История, Санкт-Петербург, 2010, - 350с.)

- Блоки 17 – 22 эхолота 16 являются типовыми функциональными узлами судовых эхолотов, в частности, навигационных. подробно рассмотренных в литературе (см. Кобяков Ю. С., Кудрявцев Н. Н., Тимошенко В. И. Конструирование гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. Л.: Судостроение, 1986. – 272с., Хребтов А.А. Судовые эхолоты. –Л.: Судостроение, 1982. -232с.)

- Таким образом, заявляемый способ многочастотной интерферометрии для формирования ультразвукового изображения донной поверхности сложной структуры и устройство для его реализации позволяют увеличить объем первичной информации за счет регистрации эхосигналов от тонких деталей элементов рельефа дна, что облегчит интерпретацию и «расшифровку» полученных данных, а также уменьшает как величину среднеквадратического отклонения $\delta_{z\hat{\phi}}$ оценки ординат рельефа рассеивающей поверхности (при использовании УЗ с меньшей длиной волны данный параметр ИГБО можно улучшить), так и неоднозначность измерений интерференционной разности фаз при обследовании шельфовых зон морских акваторий с подводным горным рельефом (резкие скачки и перепады глубин), проявляющейся в виде разрывов данного информационного параметра. Дополнение измерительного интерференционного канала многочастотным эхолотом, МПГА которого размещена вместе с МПГА на ПВУ позволяет измерять оператору кратчайшее расстояние Z_{Σ} от середины базы до рассеивающей поверхности с требуемой точностью, так как пространственная избирательность приемоизлучающей антенны эхолота (величина угловой ширины основного лепестка ХН) оказывает существенное влияние как на точность, так и достоверность данных о сложном рельефе «облучаемой» области рассеивающей поверхности.

Формула изобретения

1. Способ многочастотной интерферометрии для формирования ультразвукового изображения донной поверхности сложной структуры, включающий:

- 5 - выбор рабочей частоты f , формы, размеров и конструкции МГА и МПГА из условия получения требуемой формы ХН за счет интерференции в водной среде УЗ колебаний:

 для ИГБО - специальной формы основного лепестка ХН МГА – узкого в азимутальной (φ) ($1^0 - 3^0$, продольный размер апертуры МГА от 10λ до 50λ) и широкого в угломестной (θ) ($10^0 - 20^0$, поперечный размер апертуры МГА ~ от 2λ до 5λ) плоскостях соответственно,

 для эхолота - осесимметричной формы основного лепестка ХН МПГА, у которого угловая ширина одинакова как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ) плоскостях соответственно;

- 15 - размещение на подводной части ПВУ судна необходимого количества МГА и МПГА:

 - для ИГБО - трех одинаковых МГА по одному борту продольными размерами апертуры как в азимутальной плоскости (φ), так и вдоль направления движения судна - носителя для обеспечения параллельно-смещенного пространственного расположения их акустических осей в одной плоскости импульсного акустического зондирования, из трех МГА - одна излучающая и две приемные, фазовые центры двух приемных МГА ИГБО разнесены на расстояние $D = \lambda$, равное базе интерферометра, где $\lambda = c/f$

- 20 - длина волны, c - скорость звука в воде, f - частота УЗ сигнала, излучающая МГА ИГБО расположена в средней точке его базы,

 - и для эхолота – МПГА расположена на минимально возможном расстоянии от средней точки базы таким образом, чтобы ее акустическая ось

была расположена в той же плоскости импульсного акустического зондирования,

- регулировка пространственного расположения акустических осей всех МГА и МПГА как в азимутальной (φ), так и в угломестной (θ) плоскостях, таким образом, чтобы акустические оси МГА и МПГА лежали в плоскости импульсного акустического зондирования, которая перпендикулярна как к борту, так и к облучаемой поверхности, совпадая с угломестной (θ) плоскостью, причем, акустические оси трех МГА ИГБО наклонно направлены в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя, образуя антенную систему интерферометра, а акустическая ось МПГА эхолота была направлена в сторону облучаемой поверхности от ПВУ судна-носителя и совпадала с нормалью к ней;

- генерирование в излучающих трактах электрических колебаний и их кодирование путем преобразования в кратковременные амплитудно-импульсные модулированные колебания, огибающая которых повторяет форму кратковременных импульсов прямоугольной формы с малым временем нарастания фронта, а посылка содержит в себе несущую частоту f ;

- преобразование с помощью ЭАП излучающей МГА ИГБО и МПГА эхолота, закрепленных на ПВУ судна-носителя кодированных электрических колебаний в кратковременные периодические посылки УЗ волн с необходимой длительностью в направлении облучаемой поверхности;

- после установления акустического контакта с участком облучаемой границы раздела получают отраженные посылки УЗ волн:

для ИГБО - с клиновидной полосы облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа слева или справа относительно диаметральной плоскости судна-носителя,

для эхолота – с участка облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа в диапазоне углов θ , охватываемых проекцией основного лепестка ХН на донную поверхность;

- преобразование с помощью МГА и МПГА в режиме приема отраженных УЗ волн в электрические сигналы:

5 - для ИГБО - амплитудно-фазовой структуры результирующего поля звукового давления, полученного при наложении когерентных рассеянных УЗ волн в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности, в интерференционную картину, соответствующую минимумам и максимумам пространственного перераспределения амплитуд,

10 - и для эхолота - амплитуды эхосигнала, прошедшего по кратчайшему расстоянию от точечных отражателей на участке облучаемой поверхности;

- выделение в приемных трактах аппаратуры амплитуд информационных сигналов, полученных при отражении от выбранных участков границы раздела,

15 - для ИГБО – интерференционной картины, соответствующей распределению точечных рассеивателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности;

- и для эхолота – от ближайшего участка облучаемой поверхности,

- отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрация и документирование в аппаратуре:

20 - проведение аналогичных измерений для следующих участков облучения на границе раздела, при движении по заданному курсу судна-носителя для обеспечения получения ансамбля из профилей рельефов,

отличающийся тем, что в него дополнительно введены

25 - генерирование в водной среде полигармонического пучка УЗ сигналов с частотами $f, 2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоники, путем формирования параметрической излучающей антенны (ПИА), в объеме которой распределены нелинейные источники

высших гармонических спектральных компонент для обеспечения нелинейного эффекта самовоздействия;

- после установления акустического контакта с участком облучаемой границы раздела с помощью МГА ИГБО осуществляют прием эхосигналов от клиновидной полосы облучаемой поверхности, кратных частотам $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоники, в диапазоне углов θ , охватываемых проекциями их ХН на частотах nf на плоскость импульсного акустического зондирования, в вертикальном секторе рабочих углов $\alpha(nf)$ визирования ИГБО, а с помощью эхолота осуществляют прием эхосигналов с участка облучаемой поверхности с элементарными точечными отражателями рельефа в диапазоне углов θ , охватываемых проекцией основного лепестка ХН на донную поверхность;

- осуществляют преобразование с помощью ЭАП МГА:

для ИГБО в режиме приема отраженных УЗ волн в виде амплитудной и фазовой составляющих когерентных рассеянных волн с частотами $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоники, в электрические сигналы,

для эхолота - амплитуды эхосигналов на частотах nf , пришедших по кратчайшему расстоянию от точечных отражателей на участке облучаемой поверхности;

- выделение в приемных трактах аппаратуры информационных сигналов, полученных при отражении от выбранных участков границы раздела,

- в ИГБО - n интерференционных картин, соответствующих распределению точечных рассеивателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности для гармоник с частотами $2f, 3f, \dots, if, \dots, nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ - порядковый номер гармоники,;

- а для эхолота – от ближайшего участка облучаемой поверхности, с учетом удаленности и отражательной способности на гармониках с частотами nf ;

5 - получение результатов для выбранного участка границы раздела, обработка сигналов на гармониках с частотами nf , их регистрация и документирование.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что антенную систему интерферометра выбирают с условием, чтобы величина полезного вертикального сектора рабочих углов α визирования, в пределах которого
10 осуществляется однозначное измерение разности фаз $\Delta\varphi$ узкополосных эхосигналов, принятых каждой из МГА ИГБО с малой базой D , определялась согласно соотношению
$$\Delta\varphi = kD \sin \alpha,$$
 откуда
$$\alpha = \arcsin(\Delta\varphi/kD)$$
 или для малых углов
$$\alpha = \Delta\varphi/[2\pi(D/\lambda)],$$

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что приемные МГА ИГБО
15 осуществляют прием эхосигналов в диапазоне углов θ , охватываемых проекциями их ХН на плоскость импульсного акустического зондирования, в вертикальном секторе рабочих углов α визирования ИГБО.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что отображение результатов измерений для выбранного участка границы раздела, их регистрацию и
20 документирование в аппаратуре осуществляют путем:

- измерения кратчайшего расстояния $Z_{\text{Э}}$ от середины базы до рассеивающей поверхности для эхолота;

- измерения по интерференционной картине расстояний между нулевой линией, соответствующей середине базы приемных МГА, и серединами
25 интерференционных полос, соответствующих точкам рассеяния принятых эхосигналов на клиновидной полоске облучаемой поверхности,

пропорциональных удалению точек рассеяния от середины базы приемных МГА;

- определение с помощью масштабной линейки наклонных дальностей

r_i точек рассеяния эхо-сигналов до середины базы приемных МГА;

- 5 - определение расстояния z_i каждой i -ой точки рассеяния от облучаемой поверхности относительно горизонтальной плоскости, проходящей через середину базы приемных МГА, по формуле $z_i = r_i(i\lambda)/D$, где $i = 1, 2, 3, \dots$ - номер интерференционной полосы, отсчитываемый от нулевой линии на интерференционной картине, соответствующей моменту излучения зондирующего сигнала, λ - длина волны принимаемого эхосигнала;

- определение вертикальных расстояний $x_i = r_i \sqrt{1 - (i\lambda/D)^2}$ от середины базы приемных МГА до каждой i -той точки рассеяния поверхности;

- построение профиля рельефа клиновидной полосы облучаемой поверхности в плоскости xOy относительно уровня $z = z_{\text{э}}$ в данном цикле

- 15 зондирования для диапазона глубин, соответствующих диапазону углов θ , охватываемых основными лепестками ХН приемных МГА ИГБО. с использованием полученных данных.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что в ИГБО осуществляют преобразование амплитудно-фазовой структуры полигармонического поля звукового давления, полученного при наложении когерентных рассеянных волн на УЗ сигналах, в вертикальном секторе рабочих углов $\alpha_{\text{(nf)}}$ визирования ИГБО от точечных отражателей рельефа на клиновидной полоске облучаемой поверхности в n интерференционных картин, соответствующих минимумам и максимумам пространственного перераспределения амплитуд на частотах высших гармоник.

6. Устройство для реализации способа по п.1, включающее два измерительных канала, первый из которых содержит интерферометр, включающий в себя излучающий тракт, состоящий из последовательно соединенных между собой генераторного устройства и излучающей МГА, и приемный тракт из параллельно соединенных двух приемных МГА, каждая из которых соединена с группой из n резонансных приемоусилительных устройств, параллельно соединенных между собой, и с блоком управления, подключенным одним выходом к одному из входов n - входов аналогового ключа и к входам параллельно включенных n резонансных приемоусилительных устройств, а двумя другими выходами к аналоговым ключам, каждая группа из n резонансных приемоусилительных устройств соединена через соответствующий n -входной аналоговый ключ с фазовым различителем, подключенным ко входу регистратора, один выход которого подключен ко входу генераторного устройства, другой выход подключен через последовательно соединенные устройство определения номера i интерференционной полосы, вычислитель, устройство вычисления и программируемое устройство построения рельефа с устройством отображения, а третий выход подключен к импульсному генераторному устройству, и второй измерительный канал, выполненный в виде эхолота, включающем последовательно соединенные импульсное генераторное устройство, коммутатор «прием-передача» и приемоизлучающую МГА, причем коммутатор через группу из n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств соединен с n -входным аналоговым ключом, который через устройство вычисления и программируемое устройство построения рельефа подключен к устройству отображения.

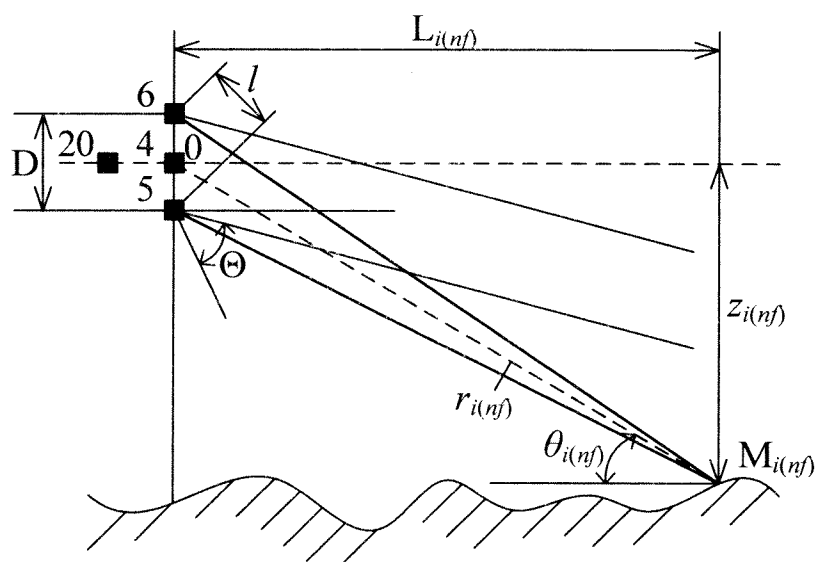
7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что в излучающие тракты интерферометра и эхолота введены усилители мощности, подключенные к генераторным устройствам.

8. Устройство по п.6, отличающееся тем, что приемные тракты интерферометра и эхолота выполнены из звеньев, содержащих n параллельно включенных резонансных приемоусилительных устройств, настроенных на

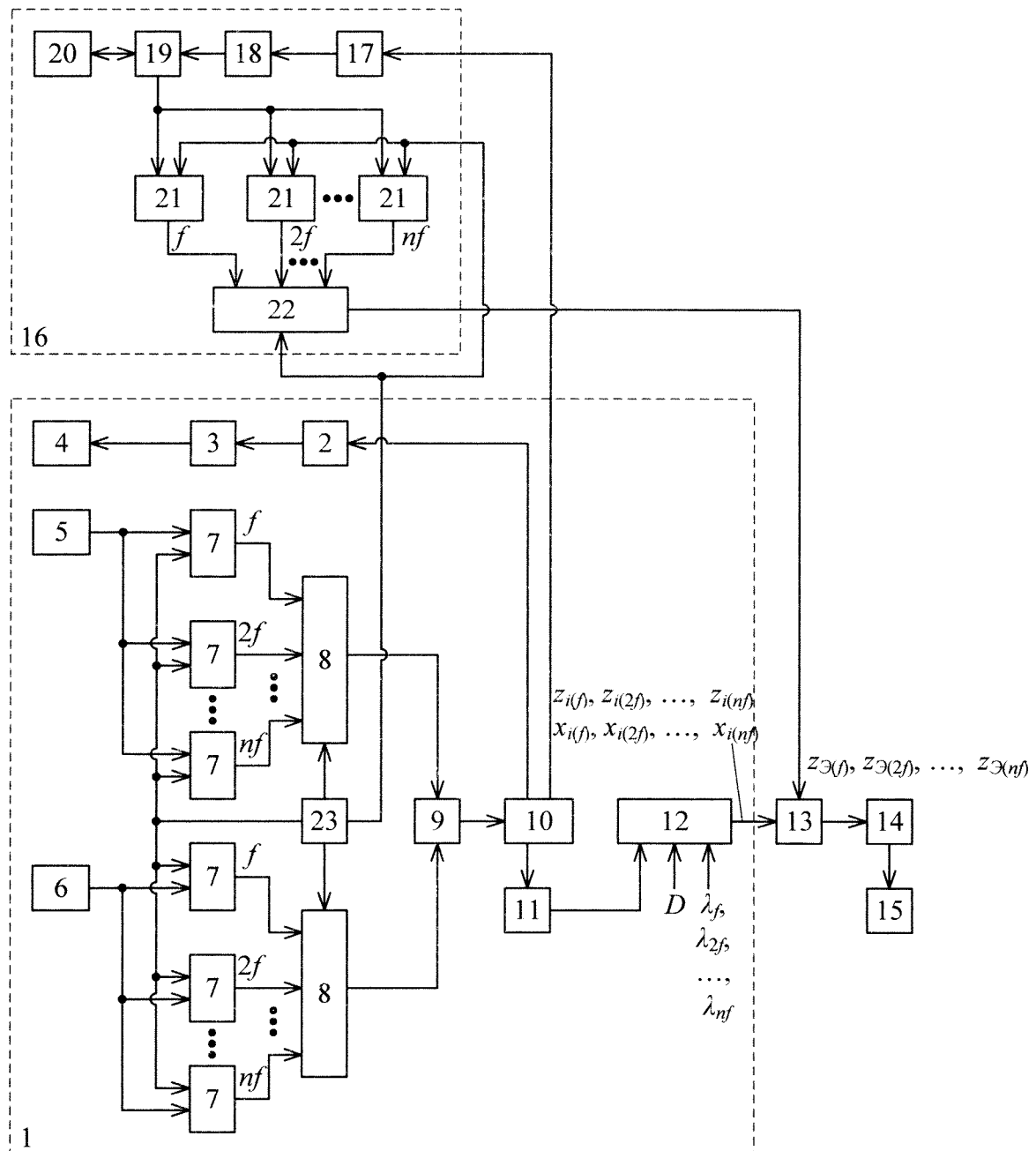
соответствующую спектральную составляющую $f, 2f, 3f, \dots, nf$ и n -входных аналоговых ключей, а управляющие входы данных блоков соединены с соответствующими выходами блока управления.

9. Устройство по п.6, отличающееся тем, что каждый ЭАП в МГА
5 снабжен пьезоэлементом, элементами экранировки, гидро-, электро- и шумоизоляции.

1/5



Фиг. 1



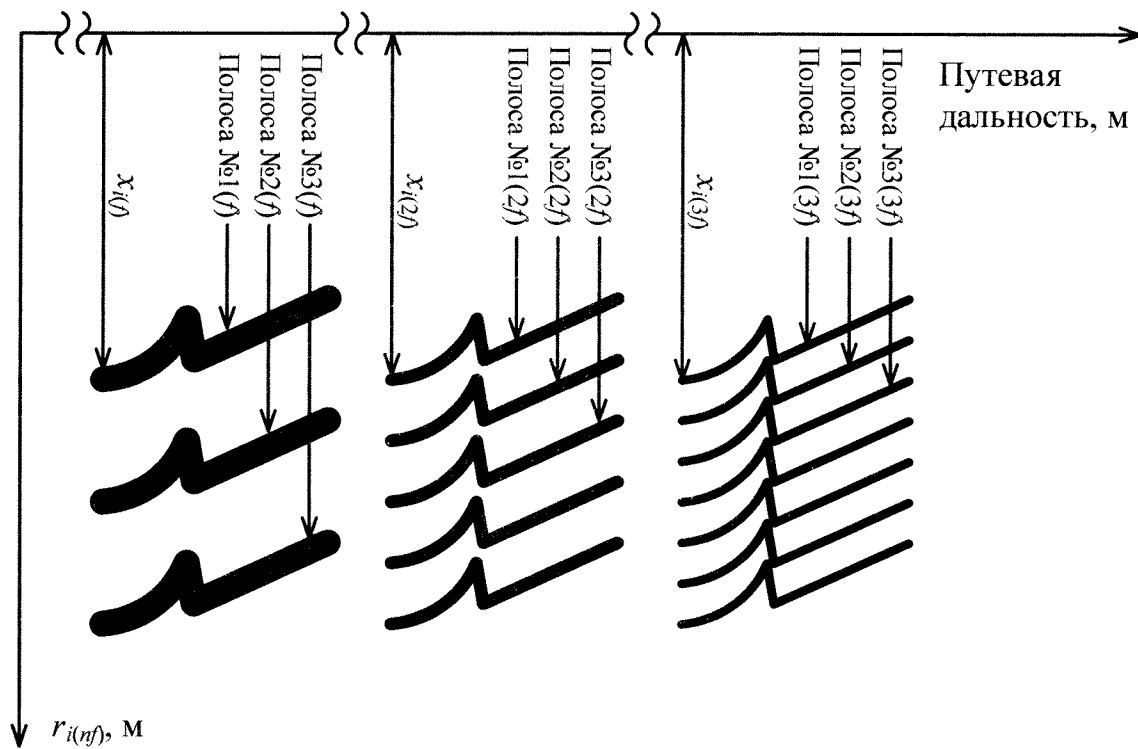
Фиг. 2

3/5



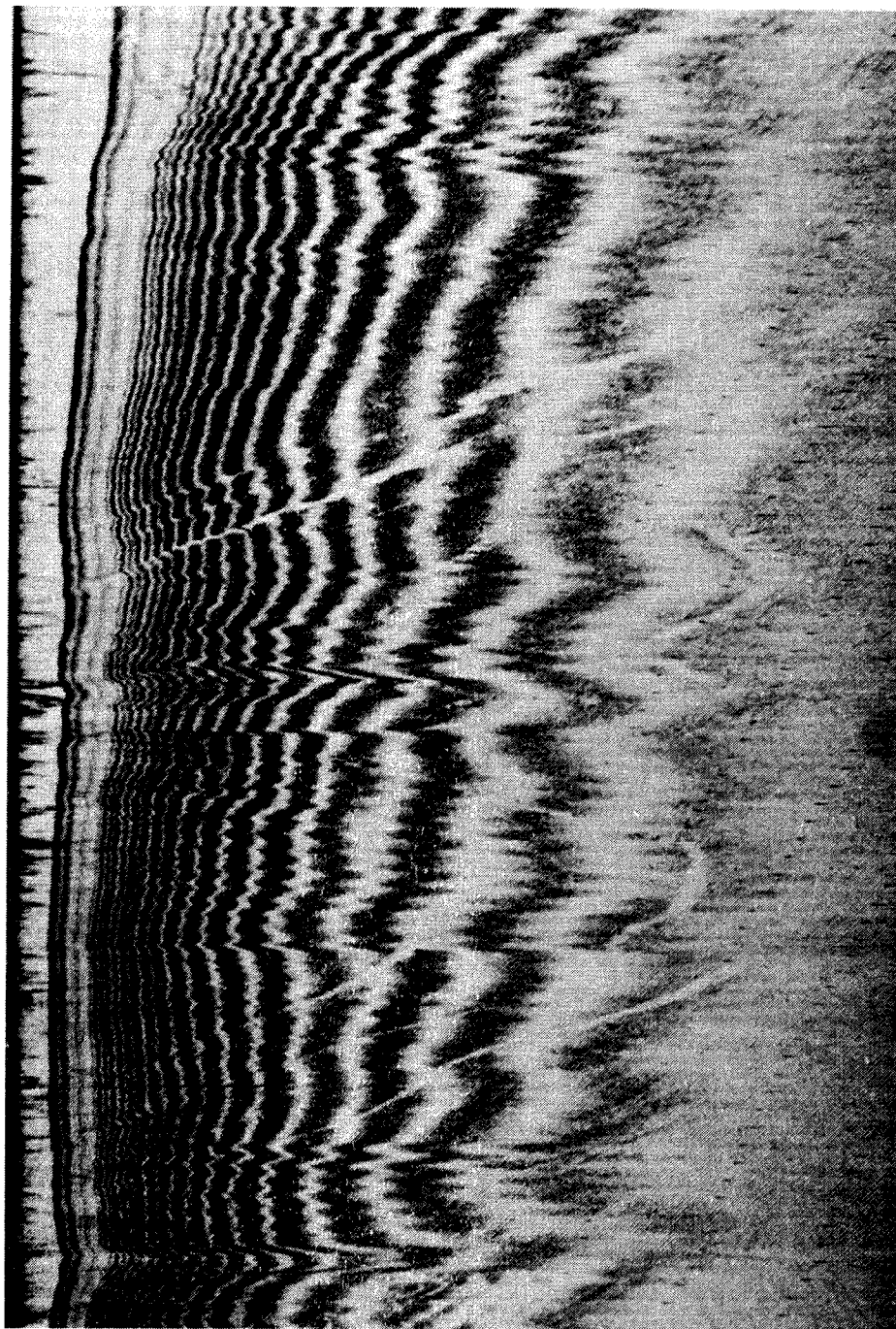
Фиг. 3

4/5



Фиг. 4

5/5



Фиг. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2020/000288

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 15/89(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S 15/00-15/89, G01S 7/00, G01S 7/52-7/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A, D	RU 2623830 C1 (AKTSIONERNOE OBSHESTVO "KONTSEIN "OKEANPRIBOR") 29.06.2017	1-9
A, D	A.R. STUBBS et al. Telesounding, a method of wide swathe depth measurement. International Hydrographic Review. Monte Carlo, 1974, vol. 51, N° 1, p. 23-59	1-9
A	BOLDINOV R.O. i dr. Mnogobazovy interferometrichesky gidrolikator bokovogo obzora dlia postroeniia vysokotochnoi batimetrii. RENSIT, 2018, vol. 10, issue 2, p. 213-216	1-9
A	RU 2429507 C1 (ALEKSEEV SERGEI PETROVICH et al.) 20.09.2011	1-9
A	RU 2466426 C1 (ALEKSEEV SERGEI PETROVICH et al.) 10.11.2012	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 June 2021 (03.06.2021)

Date of mailing of the international search report

10 June 2021 (10.06.2021)

Name and mailing address of the ISA/
RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2020/000288

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RU 2434246 C1 (KURSIN SERGEI BORISOVICH et al.) 20.11.2011	1-9
A	RU 2541435 C1 (OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO «KONTSEIN «OKEANPRIBOR») 10.02.2015	1-9
A	RU 2272303 C1 (NESTEROV NIKOLAI ARKADEVICH et al.) 20.03.2006	1-9

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2020/000288

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ <i>G01S 15/89 (2006.01)</i>																				
Согласно Международной патентной классификации МПК																				
В. ОБЛАСТЬ ПОИСКА Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации) G01S 15/00-15/89, G01S 7/00, G01S 7/52-7/60																				
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки																				
Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины) PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, DWPI, EAPATIS, PATENTSCOPE																				
С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Категория*</th> <th>Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей</th> <th>Относится к пункту №</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A, D</td> <td>RU 2623830 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КОНЦЕРН "ОКЕАНПРИБОР") 29.06.2017</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A, D</td> <td>A.R. STUBBS et al. Telesounding, a method of wide swathe depth measurement. International Hydrographic Review. Monte Carlo, 1974, vol. 51, № 1, с. 23-59</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>БОЛДИНОВ Р.О. и др. Многобазовый интерферометрический гидролокатор бокового обзора для построения высокоточной батиметрии. РЭНСИТ, 2018, том 10, номер 2, с. 213-216</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2429507 C1 (АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ и др.) 20.09.2011</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2466426 C1 (АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ и др.) 10.11.2012</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №	A, D	RU 2623830 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КОНЦЕРН "ОКЕАНПРИБОР") 29.06.2017	1-9	A, D	A.R. STUBBS et al. Telesounding, a method of wide swathe depth measurement. International Hydrographic Review. Monte Carlo, 1974, vol. 51, № 1, с. 23-59	1-9	A	БОЛДИНОВ Р.О. и др. Многобазовый интерферометрический гидролокатор бокового обзора для построения высокоточной батиметрии. РЭНСИТ, 2018, том 10, номер 2, с. 213-216	1-9	A	RU 2429507 C1 (АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ и др.) 20.09.2011	1-9	A	RU 2466426 C1 (АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ и др.) 10.11.2012	1-9
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №																		
A, D	RU 2623830 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КОНЦЕРН "ОКЕАНПРИБОР") 29.06.2017	1-9																		
A, D	A.R. STUBBS et al. Telesounding, a method of wide swathe depth measurement. International Hydrographic Review. Monte Carlo, 1974, vol. 51, № 1, с. 23-59	1-9																		
A	БОЛДИНОВ Р.О. и др. Многобазовый интерферометрический гидролокатор бокового обзора для построения высокоточной батиметрии. РЭНСИТ, 2018, том 10, номер 2, с. 213-216	1-9																		
A	RU 2429507 C1 (АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ и др.) 20.09.2011	1-9																		
A	RU 2466426 C1 (АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ и др.) 10.11.2012	1-9																		
☒ последующие документы указаны в продолжении графы С. ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении																				
* Особые категории ссылочных документов: "А" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным "D" документ, цитируемый заявителем в международной заявке "E" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее "L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано) "O" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. "P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	"Т" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение "Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности "Y" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста "&" документ, являющийся патентом-аналогом																			
Дата действительного завершения международного поиска	Дата отправки настоящего отчета о международном поиске																			
03 июня 2021 (03.06.2021)	10 июня 2021 (10.06.2021)																			
Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37	Уполномоченное лицо: Набиева З.М. Телефон № (499) 240-25-91																			

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2020/000288

С. (Продолжение). ДОКУМЕНТЫ СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕВАЛЕНТНЫМИ		
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	RU 2434246 C1 (КУРСИН СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ и др.) 20.11.2011	1-9
A	RU 2541435 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КОНЦЕРН «ОКЕАНПРИБОР») 10.02.2015	1-9
A	RU 2272303 C1 (НЕСТЕРОВ НИКОЛАЙ АРКАДЬЕВИЧ и др.) 20.03.2006	1-9