

УДК 519.876.5

**А.Н. Долгов, М.А. Раскита, А.Н. Куценко, С.В. Третьяков, К.В. Колосов**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПОРТАТИВНОГО МНОГОЛУЧЕВОГО**  
**ГИДРОЛОКАТОРА СЕКТОРНОГО ОБЗОРА ДЛЯ ПОДСЧЁТА РЫБ**  
**В ОГРАЖДЁННЫХ РАЙОНАХ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ ЗОН**  
**РЫБОЛОВСТВА И ВО ВНУТРЕННИХ ВОДОЁМАХ**

*Изложены основные результаты разработки портативного научного многолучевого гидролокатора секторного обзора для подсчёта рыб в ограждённых районах прибрежных морских зон рыболовства и во внутренних водоёмах. Отмечены инновационные решения, осуществлённые в разработке. Приведён перечень аппаратных и программных средств научного гидролокатора. Представлены результаты измерения характеристик направленности гидроакустической антенны в режиме излучения и в режиме приёма с веером лучей. Особенностью полученных результатов является постоянство ширины ХН в плоскости веера лучей и низкий уровень боковых лепестков. Ещё одним достоинством разработанного научного гидролокатора является возможность работы на коротких длительностях излучаемых акустических импульсов. Приведены снимки экрана прибора управления и индикации при проведении гидроакустических съёмки в натуральных условиях в режимах: «Эхограмма», «Сектор» и «3D». Описано программное обеспечение гидролокатора, в том числе: программа калибровки научного многолучевого гидролокатора с помощью эталонной карбид-вольфрамовой сферы; программа постпроцессинговой обработки гидроакустических записей. Отмечено, что для расчёта силы цели эталонной сферы специально разработано программное обеспечение «Калькулятор силы цели». Описан опыт проведения натуральных испытаний разработанного гидролокатора и проведения гидроакустических съёмок на мелководных внутренних водоёмах с целью количественной оценки запасов рыбных ресурсов. Приведён перечень учреждений рыбохозяйственной и экологической специализации, специалисты которых принимали участие в натуральных испытаниях и гидроакустических съёмках. Выполнена обработка полученных гидроакустических записей с помощью программного пакета постпроцессинговой обработки. Приведены карта распределения глубин во внутреннем водоёме и карта распределения биомассы в этом водоёме. Приведена гистограмма распределения силы цели обнаруженных одиночных рыб. Отмечено, что впервые в России, включая Советский период, создан научный гидролокатор, позволяющий решать задачи количественной оценки запасов рыбных скоплений. Это – первый шаг в рамках программы импортозамещения зарубежной научной гидроакустической аппаратуры для исследования запасов водных биоресурсов в Российской Федерации.*

*Аквакультура; мониторинг водных биоресурсов; многолучевой гидролокатор секторного обзора; расщеплённый луч; эхосчёт; эхоинтегрирование; гидроакустические съёмки.*

**A.N. Dolgov, M.A. Raskita, A.N. Kutsenko, S.V. Tretyakov, K.V. Kolosov**  
**THE RESULTS OF DEVELOPMENT OF THE PORTABLE MULTIBEAM**  
**SONAR INTENDED FOR COUNTING FISH IN FENCED AREAS OF**  
**COASTAL FISHING ZONES AND INLAND WATERS**

*The main results of development of the portable multibeam sonar intended for counting fish in fenced areas of coastal fishing zones and inland water bodies are overviewed in this article. Innovative solutions implemented in the work are described. Software and hardware used for the scientific sonar is indicated. Results of transducer beam measurements in both transmission and reception modes with a fan of beams are here considered. The obtained results revealed constant beam width within the fan of beams and low side lobe. One more advantage which offers the sonar is its possibility to operate at short transmit pulse length. Screenshots of the control-and-display unit made during the in-situ acoustical surveys in modes "Echogram", "Sector" and "3D" are here shown. Besides, the following sonar software is described, such as: the calibration program for the scientific multibeam sonar using a standard tungsten-carbide sphere; the program of*

*acoustic data postprocessing. It is noted that to calculate target strength of the standard sphere, a dedicated software Target Strength Calculator has been created. The article describes sonar field tests and acoustical surveys for stock assessment in shallow and inland waters. The organizations and establishments which experts took part in the field tests and acoustical surveys are here mentioned. All the obtained acoustical data have been processed by means of software postprocessing package. A depth chart and biomass distribution chart within the particular inland water body are demonstrated. The histogram of target strength distribution of the detected single fish is also shown. It is also noted, that it is the first scientific sonar intended for quantitative fish stock assessment that is created in Russia including Soviet era. This is the first step to replace foreign scientific sonar equipment with domestic products capable of exploring marine bio-resources of Russia.*

*Aquaculture; marine biomass monitoring; multibeam sector scanning sonar; echocounting; echointegration; hydroacoustic surveys.*

**Введение.** Задача оценки запасов водных биоресурсов (ВБР) всегда относилась к сфере государственных интересов как экономического, так и экологического характера [1]. До недавнего времени численная оценка запасов ВБР проводилась, в основном, в масштабе морских и океанских исследований [2]. На сегодняшний день эти задачи стали актуальными и для объектов аквакультуры, обретающей статус одного из направлений деятельности сельского хозяйства [3, 4].

Задача количественной оценки и построение карт распределения рыбных концентраций, изучение влияния окружающей среды на временную динамику рыбных биомасс и их пространственных распределения во внутренних представляет несомненный интерес для рыбохозяйственных и природоохранных целей. Гидроакустический метод количественной оценки рыбных биомасс, основанный на проведении гидроакустических съемок, позволяет с высокой степенью достоверности определить биомассы для разных видов рыб и разных возрастных групп, построить планшеты распределений рыбных плотностей в пределах обследованных акваторий внутренних водоёмов – объектов аквакультуры, обретающей статус одного из быстрорастущих направлений деятельности сельского хозяйства. Если в конце 1960-х годов объём производства составлял около 3 млн. тонн, то в 1985 году общий мировой объём аквакультуры (включая водоросли) составил 12,0 млн. тонн. К концу XX века объём достиг 41,7 млн. тонн, а в 2006 г. он достиг 66,8 млн. тонн. Аквакультура обеспечила почти половину среднего мирового объёма поставки рыбы на душу населения – 16,7 кг. По прогнозам к 2050 году глобальная продукция аквакультуры может достигнуть 80 млн. тонн. Российская Федерация также заинтересована в развитии аквакультуры и добывает в год около 3,72 млн. тонн всех видов биоресурсов.

В связи с неуклонным падением в России объёмов добычи ВБР промышленным рыболовством, обусловленным сокращением численности рыболовного флота, высокой дороговизной его эксплуатации и вместе с этим сокращением квот на вылов ВБР, в обозримом будущем настанет момент, когда объёмы добычи промышленного рыболовства станут меньше аквакультуры. На рис. 1 представлен так называемый «крест», образуемый пересечением графиков добычи промысловства и аквакультуры по шкале времени около 2050 года.

Место выращивания аквакультуры – это внутренние водоёмы и ограждённые районы прибрежных морских зон рыболовства с глубиной от 1 до 10 м (мелководье). В связи с малыми глубинами применение традиционных научных гидроакустических средств вертикального действия практически невозможно и нецелесообразно. Поэтому актуальной является задача создания портативного научного многолучевого гидролокатора секторного обзора (ПГЛС), позволяющего осуществлять обнаружение и подсчет рыб с оценкой биомассы в условиях мелководья и использования малых плавсредств, включая небольшие катера и шлюпки.

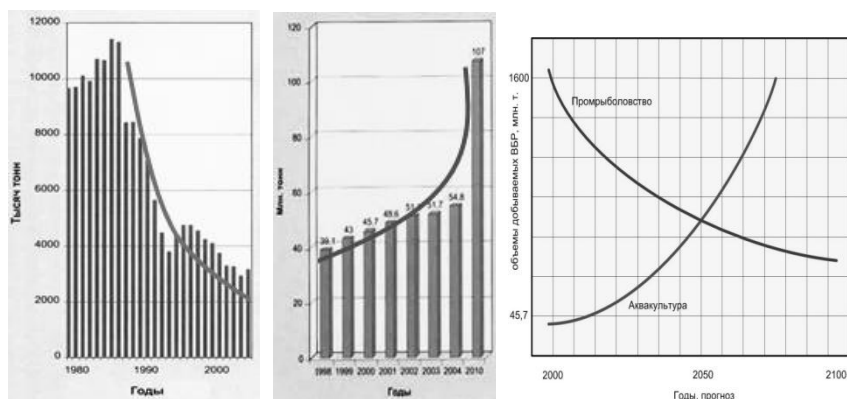


Рис. 1. Объёмы добываемых промысловым и аквакультурой ВБР

Для достоверной оценки рыбного запаса на водоеме (озере, водохранилище или реке) необходимо знать не только видовой и размерный состав ихтиоциноза, но и акустические характеристики рыб разных видов и размеров. Встраивание алгоритмов определения численности и биомассы рыб по результатам обработки ультразвуковых эхосигналов в современные гидроакустические приборы позволит с высокой степенью достоверности решать задачи количественной оценки рыбных концентраций и их распределений в пределах обследованных акваторий.

**Постановка задачи.** В работе [5] рассмотрены предпосылки и актуальность создания портативного многолучевого гидролокатора секторного обзора для подсчета рыб в огражденных районах прибрежных морских зон рыболовства и во внутренних водоемах. Там же приведено описание целей и задач создания портативного многолучевого гидролокатора, перечень инновационных технических решений в разработке, технические характеристики гидролокатора и его структура.

В связи с малыми глубинами внутренних водоемов и прибрежных зон промышленного рыболовства применение традиционных научных гидроакустических средств вертикального действия практически невозможно или неэффективно. Поэтому поставлена и решена задача создания портативного научного многолучевого гидролокатора секторного обзора (ПГЛС), позволяющего осуществлять обнаружение и подсчет рыб с оценкой биомассы в условиях мелководья и использования малых плавсредств, включая небольшие катера и шлюпки.

Разработка ПГЛС, изготовление опытного образца и его испытания проведены силами специалистов трёх предприятий: конструкторское бюро морской электроники «Вектор» (ООО КБМЭ «Вектор», г. Таганрог), Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО», г. Москва), научно-техническое предприятие «Реаконт» (ООО НТП «Реаконт», г. Москва).

Государственным заказчиком работы является департамент судостроительной промышленности и морской техники Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (ДСП и МТ Минпромторга РФ). Актуальность работы также была отмечена Федеральным агентством по рыболовству и департаментом охраны и использования объектов животного мира и водных биологических ресурсов Ростовской области.

В результате разработки ПГЛС получены следующие инновационные решения:

- ◆ формирование веера приёмных расщеплённых лучей с постоянной шириной характеристики направленности (ХН) 7 градусов в плоскости сектора шириной 90 градусов;
- ◆ реализация функций эхосчёта (подсчёт обнаруженных одиночных объектов в интервалах с одинаковым значением силы цели) и эхоинтегрирования (количественная оценка биомассы, производимая по эхосигналам объёмного обратного рассеяния) [6, 7];
- ◆ реализация процедуры калибровки приёмно-излучающего тракта;
- ◆ реализация режима встроенного тренажёра для обучения гидроакустиков-пользователей ПГЛС [8];
- ◆ разработка постпроцессинговой системы обработки гидроакустических данных [9].

В результате разработан и изготовлен опытный образец ПГЛС, предоставляющий новые возможности гидроакустического метода количественной оценки рыбных ресурсов [10]. Перечень аппаратных средств которого приведён в табл. 1.

Таблица 1

**Аппаратные средства опытного образца ПГЛС**

№ п/п	Наименование аппаратного средства
1	Блок подводный
2	Блок сопряжения
3	Прибор управления и индикации (ПУИ) – защищенный ноутбук Getac X500
4	Датчик перемещений судна Kongsberg Seatex MRU-H
5	Приёмник спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS CH-5831
6	Аккумулятор 24В 20Ач
7	Калибровочная карбид-вольфрамовая сфера диаметром 38,1 мм
8	Забортное устройство

Внешний вид блока подводного, блока сопряжения, заборного устройства и ПУИ (ноутбука) приведены на рис. 2–5.

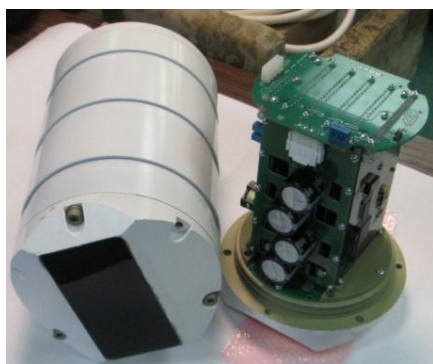


Рис. 2. Блок подводный



Рис. 3. Блок сопряжения



Рис. 4. Ноутбук



Рис. 5. Забортное устройство

Разработано программное обеспечение (ПО) ПГЛС [11], включающее в себя четыре основных компонента, описанные ниже.

1. ПО приёмопередатчика, в состав которого входят ПО блока подводного и ПО блока сопряжения. ПО предназначено для осуществления связи между приёмопередатчиком и прибором управления и индикации.

ПО приёмопередатчика обеспечивает:

- ◆ приём командных пакетов от ПУИ, формирование и передачу ответных пакетов данных в ПУИ;
- ◆ формирование характеристики направленности в режиме излучения посредством введения амплитудно-фазового распределения по элементам антенной решётки в соответствии с параметрами командного пакета;
- ◆ управление мощностью, длительностью и типом излучаемого импульса (тон, частотно-модулированный) в соответствии с параметрами командного пакета;
- ◆ цифровую фильтрацию и децимацию эхосигналов для каждого элемента 64-элементной антенной решётки;
- ◆ лучеформирование, вычисление модуля и аргумента комплексных эхосигналов по каждому лучу;
- ◆ вычисление разности фаз для ортогональных подрешёток, необходимых для работы алгоритма «расщеплённый луч».

2. ПО ПУИ предназначено для управления гидролокатором, отображения графической информации и сохранения цифровых данных эхосигналов на жёстком диске.

ПО ПУИ обеспечивает:

- ◆ установление типа, длительности и мощности излучаемых сигналов;
- ◆ установление ширины характеристики направленности антенны в режиме излучения;
- ◆ вторичную обработку и отображение эхосигналов на экране ПУИ в различных режимах;
- ◆ запись и последующее воспроизведение принятых эхосигналов;
- ◆ отображение текущего положения, вектора скорости и траектории плавсредства, на котором установлен гидролокатор, на электронном планшете с картой водоема.

3. ПО калибровки – предназначено для калибровки гидролокатора с помощью эталонной цели – сплошной сферы, изготовленной из карбида вольфрама (Spheric Trafalgar Ltd, Великобритания, рис. 6).



Рис. 6. Сфера из карбида вольфрама для калибровки ПГЛС

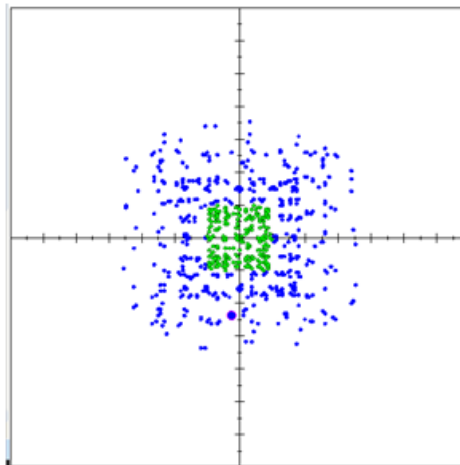


Рис. 7. Координаты сферы в растворе основного лепестка центрального луча

ПО калибровки обеспечивает:

- ◆ получение набор статистических данных о силе цели калибровочной сферы и её координат внутри ХН конкретного луча (рис. 7);
- ◆ калибровку коэффициента усиления в зависимости от направления на цель внутри ХН конкретного луча;
- ◆ калибровку поправочного коэффициента обратного рассеяния единицей площади для конкретного луча.

3. ПО постпроцессинга – предназначено для работы в режиме отложенного времени с цифровыми данными, записанными в процессе работы ПГЛС. ПО постпроцессинга является основным инструментом числового анализа гидроакустических сигналов и используется для решения следующих научных задач: обработка эхосигналов, записанных во время гидроакустической съемки с целью оценки биомассы гидробионтов; исследование особенностей распределения гидробионтов, и в первую очередь, рыбных косяков в толще воды; измерение силы цели (TS) одиночных рыб и т.п.

ПО постпроцессинга обеспечивает:

- ◆ селекцию донного эхосигнала;
- ◆ отображение гидроакустических и навигационных данных;
- ◆ обработку гидроакустических данных:
- ◆ эхосчет;
- ◆ эхоинтегрирование;
- ◆ оценку параметров косяков.

Результаты измерений ХН приёмных лучей с 11 по 21 (центральная область сектора обзора) в плоскости веера, выполненных в заглушённом измерительном бассейне, показаны на рис. 8. Особенностью полученных результатов является постоянство ширины ХН в плоскости веера лучей, низкий уровень боковых лепестков в приёме порядка  $5 \div 10$  %, т.е.  $-26 \div -20$  дБ. Такие результаты являются конкурентно выигрышными по сравнению с зарубежными аналогами с точки зрения

использования гидроакустических средств для оценки запасов биомассы ВБР на мелководье. Кроме того, ещё одним достоинством разработанного ПГЛС является возможность работы на коротких длительностях излучаемых акустических импульсов 32 мкс и 64 мкс, что недоступно для зарубежных аналогов ПГЛС. Это позволяет «отделить» малоразмерные близко расположенные одиночные объекты друг от друга (например, в рыбном скоплении) и от донной поверхности и использовать более точный по сравнению с методом эхоинтегрирования метод эхосчёта для количественной оценки запасов ВБР. На рис. 9 показаны ХН излучающей антенны в горизонтальной плоскости. Ширина на уровне 0,7 при скорости звука 1472 м/с 69 градусов (широкая ХН) и 6,3 градуса (узкая ХН).

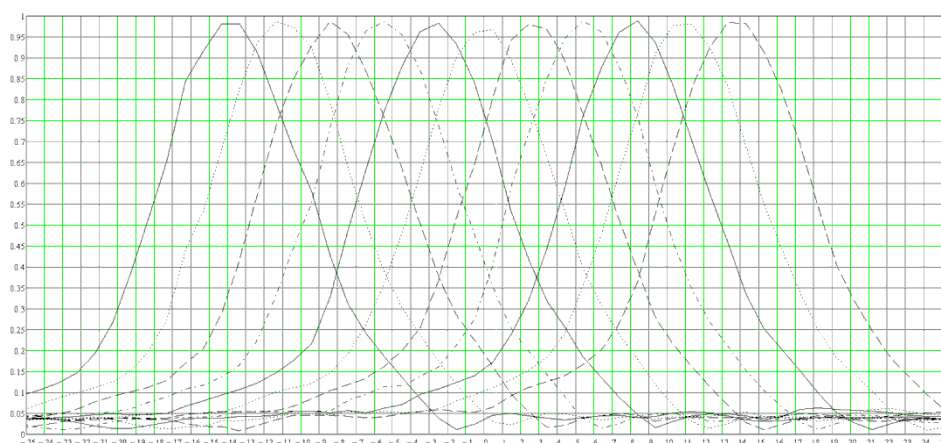


Рис. 8. ХН приёмных лучей веера с 11 по 21

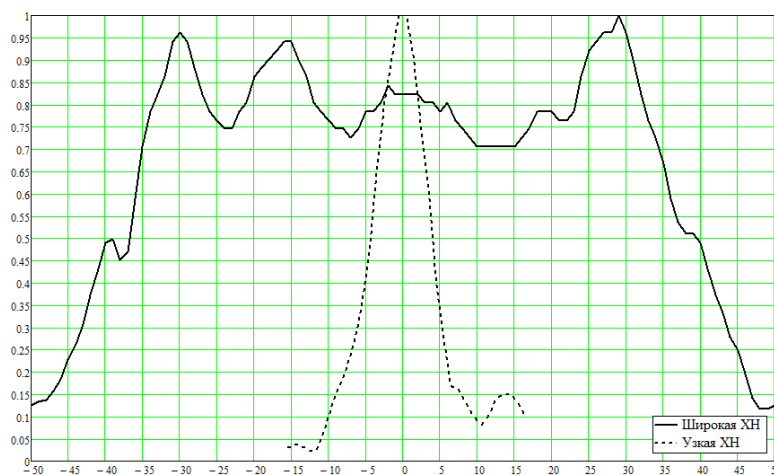


Рис. 9. ХН излучающей антенны (широкая и узкая ХН)

В период с 09 сентября по 11 сентября 2014 года был проведён первый этап натурных испытаний ПГЛС на мелководном рыбопромысловом участке «Ясенская переправа» (Азовское море, Ейский район, сельское поселение Ясенское, 46°15'00" с. ш. 38°17'50" в. д.). В период с 8 по 10 октября был проведен второй этап натурных испытаний на территории биостанции Института проблем экологии



и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, расположенной на берегу озера «Глубокое» (Московская область, Рузский район,  $55^{\circ}45'11''$  с. ш.  $36^{\circ}30'18''$  в. д.). В период с 17 по 18 сентября 2015 года проводились гидроакустические съемки на территории рыбоводческого хозяйства ООО «Широкольский рыбокомбинат», п. Юрковка, Тарумовский район, Республика Дагестан ( $44^{\circ}11'$  с.ш.,  $46^{\circ}43'$  в.д.).

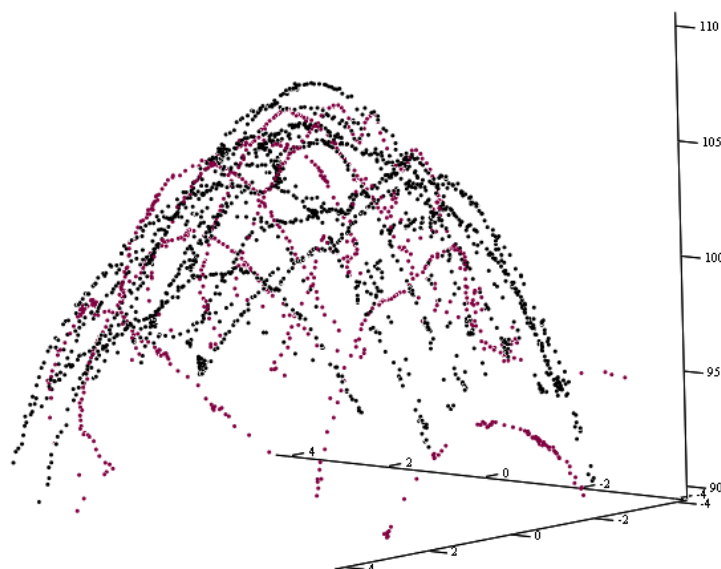


Рис. 10. ХН излучающей антенны (широкая и узкая ХН)

В ходе проведения натурных испытаний была опробована процедура калибровки ПГЛС по стандартной трёхточечной схеме при помощи эталонной цели – сферы из карбида вольфрама диаметром 38,1 мм. Калибровка ПГЛС «Сектор» производилась в соответствии с классической процедурой калибровки научной гидроакустической аппаратуры [12]. Сила цели эталонной сферы рассчитывалась с помощью программы «Калькулятор силы цели», разработанной в КБМЭ «Вектор» [13, 14]. В результате калибровки выполнялась корректировка коэффициента усиления для центрального (референсного) луча.

Результаты испытаний ПГЛС «Сектор» описаны в работе [15]. Описание некоторых алгоритмов работы ПГЛС «Сектор» приведено в работах [16, 17]. Зарубежным аналогом разработанного ПГЛС является научный многолучевой эхолот фирмы Simrad (Норвегия) [18].

На натурных испытаниях присутствовали разработчики ПГЛС, а также приглашенные специалисты из ФГУП ВНИРО, Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН), специалисты Института экологии и устойчивого развития ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет».

На рис. 11 и 12 приведены некоторые виды отображений гидроакустической информации на экране ПУИ ПГЛС, сделанные при проведении гидроакустических съёмок в натурных условиях.



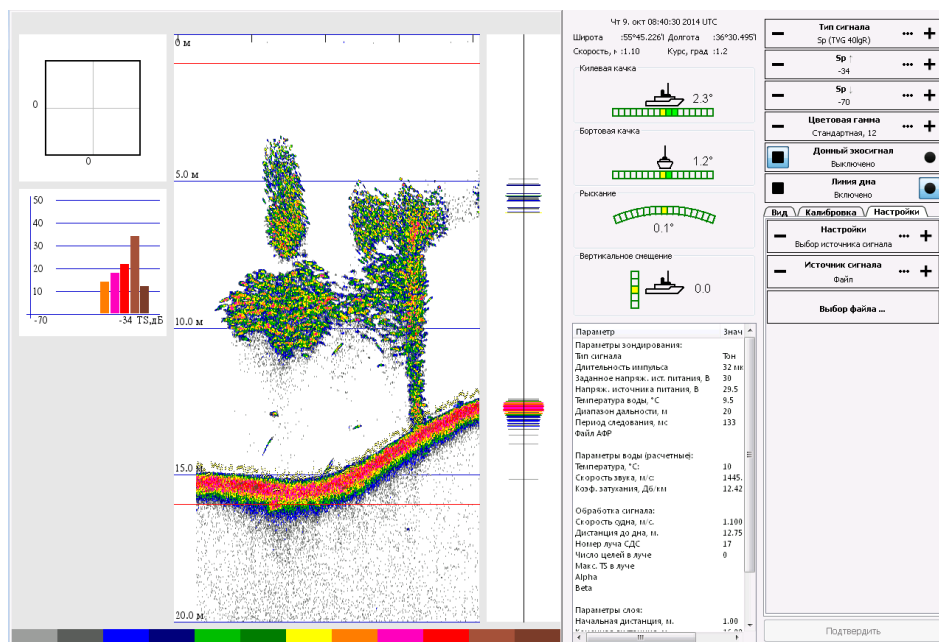


Рис. 11. Эхограмма вертикального луча

Длительность тонального импульса – 32 мкс, видны скопления молоди рыбы

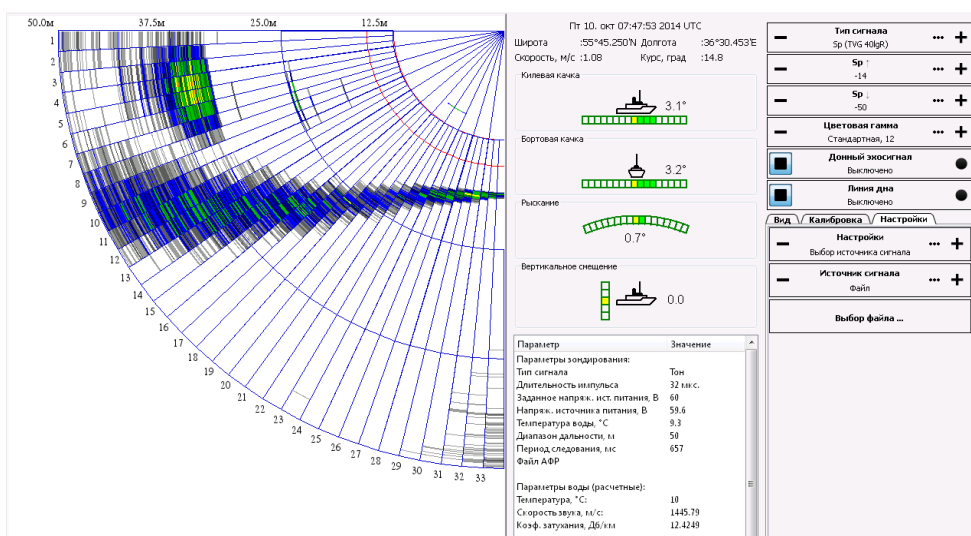


Рис. 12. Режим бокового обзора, одиночные рыбы и косяк рыбы

Длительность тонального импульса – 32 мкс, видны одиночные рыбы на дистанциях 7–30 м и скопление рыбы на дистанции 35 м, а также профиль донной поверхности

На рис. 13 приведена экранная форма режима 3D отображения ГА информации, полученной в результате проведения съёмок на оз. Глубокое, который даёт наглядное представление о подводной обстановке на основе гидроакустических

данных. 3D режим позволяет проводить более информативный анализ обнаруженных рыбных скоплений, одиночных рыб и рельефа донной поверхности. На рисунке приведена запись одного галса при проходе через озеро. Чётко виден рельеф донной поверхности в виде участка чаши, на глубине порядка 20 м виден звукорассеивающий слой, состоящий из личинок комара, в верхней части 3D-эхограммы видны одиночные рыбы и рыбные скопления.

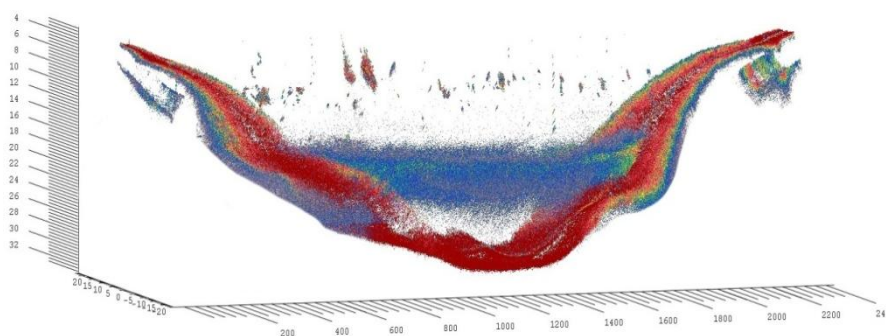


Рис. 13. 3D режим отображения гидроакустических данных

На территории рыбоводческого хозяйства ООО «Широкольский рыбокомбинат» гидроакустические съёмки проводились в 4-х искусственных прудах с естественными грунтовыми берегами и дном, а также в бетонном бассейне.

1. По информации, полученной от сотрудников ООО «Широкольский рыбокомбинат», характеристики водоемов и популяций товарной рыбы в них следующие:
2. Водоём № 1 – выростной пруд № 1, площадью 8,5 га, зарыблен стерлядью возрастом 3–4 года с длиной тела около 30–35 см.
3. Водоём № 2 – выростной пруд № 2, площадью 9 га, зарыблен стерлядью возрастом 2 года с длиной тела около 20–25 см.
4. Водоём № 3 – мальковый пруд № 0, площадью 0,7 га, зарыблен бестером возрастом 1 год с длиной тела около 15–20 см.
5. Водоём № 4 – выростной пруд № 8, площадью 17,8 га, зарыблен частиковыми (лещ, карп и др.) возрастом 0,5 года с длиной тела около 5–8 см.
6. Бассейн – бетонная емкость площадью 38,5 м<sup>2</sup>, зарыблен молодью белуги возрастом 1,5 года с длиной тела около 20 см.

В качестве плавательных средств на водоёмах №№ 1–4 использовались алюминиевые лодки длиной 4 м и шириной 1,4 м. В бетонном бассейне аппаратура устанавливалась стационарно. Гидроакустические съёмки выполнялись в соответствии с руководством по их проведению [19].

Обработка собранных гидроакустических записей выполнялась в программном пакете постпроцессинговой обработки EchoView 6.1, признанном эталонным инструментом при проведении количественной оценки запасов гидробионтов. Поскольку в настоящее время формат записей ПГЛС «Сектор» не совместим с форматами, поддерживаемыми EchoView, производилась предварительная конвертация записей ПГЛС «Сектор» в формат NAC 1.70 при помощи специально разработанного в КБМЭ «Вектор» конвертера [9].

Алгоритм обработки информации, полученной при проведении гидроакустических съёмок, подробно описан в руководстве по сбору и обработке акустической информации [20]. Искомой величиной является средняя плотность распределения биомассы, измеряемая для искусственных водоемов в кг/га. Для расчёта силы цели

осетровых видов рыб использовались уравнения зависимости силы цели TS от их длины при вертикальной локации и частоте излучения 200 кГц (значение рабочей частоты ПГЛС «Сектор»), приведённые в работе [21].

На рис. 14 и 15 показаны карта распределения измеренных с помощью ПГЛС «Сектор» глубин (рис. 14) и рассчитанная по результатам обработки средняя плотность распределения биомассы (рис. 15) в водоёме № 4. Из рис. 15 видно, что наибольшее значение средней плотности сосредоточено в наиболее глубоком месте водоёма.

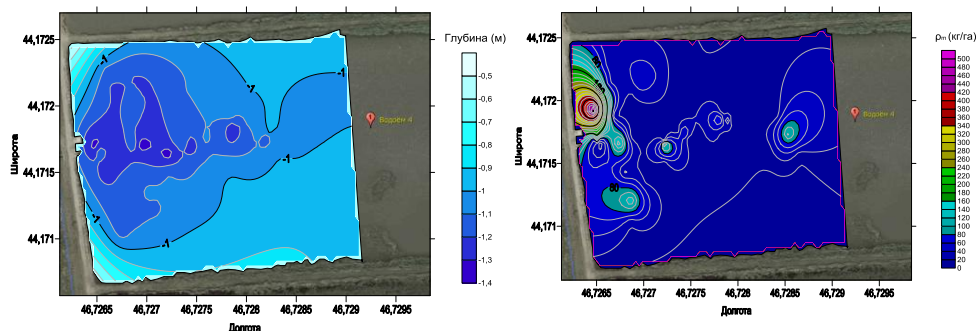


Рис. 14. Карта распределения глубин

Рис. 15. Карта распределения биомассы

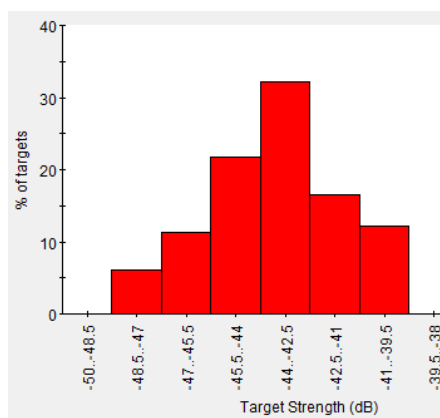


Рис. 16. Распределение TS

В связи с тем, что ПГЛС «Сектор» в бетонном бассейне располагался стационарно и фиксировал проплывающую под ним рыбу только в одной точке водоёма, то последующая обработка гидроакустических данных производилась с помощью метода эхосчёта с определением распределения силы цели TS одиночных рыб (рис. 16).

Анализ распределения TS одиночных рыб в бассейне показывает, что оно является мономодальным, его максимум соответствует диапазону силы цели от минус 44 дБ до минус 42,5 дБ, соответствующему длине рыбы около 21 см, что совпадает с информацией, полученной от сотрудников ООО «Ширококольский рыбокомбинат».

**Выводы.** Результаты работы показали, что впервые в России, включая Советский период, создан научный гидролокатор, позволяющий решать задачи количественной оценки запасов рыбных скоплений. Преодолена монополия фирмы Simrad (филиал компании Kongsberg Maritime, Норвегия) в выпуске такой аппаратуры, продолжавшаяся около 30 лет. Это – первый шаг в рамках программы импортозамещения зарубежной научной гидроакустической аппаратуры для исследования запасов водных биоресурсов в Российской Федерации.

По результатам натурных испытаний ПГЛС комиссией подготовлено заключение, в котором отмечено, что с целью доведения опытного образца ПГЛС «Сектор» до серийного образца необходимо начать его опытную эксплуатацию силами гидроакустиков и ихтиологов ВНИРО и ИПЭЭ РАН при проведении ресурсных исследований во внутренних водоемах РФ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кудрявцев В.И.* Использование гидроакустики в рыбном хозяйстве. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 176 с.
2. *Гончаров С.М., Долгов А.Н., Кудрявцев В.И.* Гидроакустика способна стать одним из основных средств мониторинга состояния запасов водных биоресурсов для промышленного рыболовства // *Рыбное хозяйство*. – 2009. – № 4. – С. 110-112. – ISSN 0131-6184.
3. Проект федерального закона № 482298-5 «Об аквакультуре». Официальный интернет-портал Министерства сельского хозяйства РФ. – URL: <http://mcx.ru/documents/document/show/16771.77.htm> (дата обращения 05.02.2016 г.).
4. Спрос на продукцию аквакультуры продолжает расти. Сайт "Рыбные Ресурсы" <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=19765> (ссылка по состоянию на 05.02.2016 г.).
5. *Долгов А.Н., Раскина М.А.* Цели и задачи создания портативного многолучевого гидролокатора секторного обзора для подсчёта рыб в ограждённых районах прибрежных морских зон рыболовства и во внутренних водоёмах // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2013. – № 9 (146). – С. 43-48.
6. *Ермольчев В.А.* Эхосчётные и эхоинтегрирующие системы для количественной оценки рыбных скоплений. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 193 с.
7. *Долгов А.Н., Куценко А.Н., Раскина М.А.* Разработка научного многолучевого гидролокатора секторного обзора для оценки запасов рыб во внутренних водоёмах // *Труды XII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»*. – СПб.: Нестор-История, 2014. – С. 524-527.
8. *Долгов А.Н.* Теория и практика проектирования тренажёров гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Росиздат», 2009. – 400 с.
9. Программное обеспечение системы постпроцессинговой обработки результатов подсчёта рыб (ПО постпроцессинга). Программа для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015610782.
10. *Гончаров С.М., Долгов А.Н.* Портативный гидролокатор секторного обзора (ПГЛС) – новые возможности гидроакустического метода количественной оценки рыбных ресурсов // *Рыбное хозяйство*. – 2015. – № 3. – С. 117-120.
11. Программное обеспечение портативного гидролокатора секторного обзора (ПО ПГЛС). Программа для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015610783.
12. *Simmonds J., MacLennan N.* Fisheries acoustics; Theory and practice. – 2nd ed. Blackwell Science, Oxford, 2005. – 437 p.
13. *Раскина М.А., Куценко А.Н., Сомтков О.В.* Калькулятор силы цели. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015618243.
14. *MacLennan D.N.* The theory of solid spheres as sonar calibration targets. Scottish Fisheries Research. 1981. Report Number 22.
15. *Долгов А.Н., Третьяков С.В., Раскина М.А., Куценко А.Н., Гончаров С.М.* Разработка и испытания портативного гидролокатора секторного обзора // *Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования*. – 2015. – № 4. – С. 125-134.

16. Долгов А.Н., Куценко А.Н., Раскина М.А. Разработка алгоритма селекции пелагических целей в научном многолучевом гидролокаторе секторного обзора // Труды XII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2014. – С. 527-530.
17. Патент на изобретение №2558003. Устройство для поиска и подсчета рыбы / Долгов А.Н., Куценко А.Н., Раскина М.А. Приоритет изобретения 14 апреля 2014 г.
18. Simrad ME70 Scientific multibeam echo sounder. <http://www.simrad.com/www/01/nokbg0240.nsf/AllWeb/96CD4279D3997892C125719A003A3862?OpenDocument> (ссылка по состоянию на 05.02.2016 г.).
19. Руководство по проведению гидроакустических съёмок. – М.: ВНИРО, 1984.
20. Руководство по сбору и обработке акустической информации в процессе тралово-акустических съёмок. – Мурманск: ПИНРО, 1989. – 60 с.
21. Borisenko, E.S., Degtev A.I., Mochek A.D., and Pavlov D.S. Hydroacoustic Characteristics of Mass Fishes of the Ob-Irtysh Basin // Journal of Ichthyology. – 2006. – Vol. 46, Suppl. 2. – P. S227-S234.

#### REFERENCES

1. Kudryavtsev V.I. Ispol'zovanie gidroakustiki v rybnom khozyaystve [Use of hydroacoustics in fish industry]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1979, 176 p.
2. Goncharov S.M., Dolgov A.N., Kudryavtsev V.I. Gidroakustika sposobna stat' odnim iz osnovnykh sredstv monitoringa sostoyaniya zapasov vodnykh bioresursov dlya promyshlennogo rybolovstva [Hydroacoustics is aimed to become one of the main means of monitoring state of aquatic bioresources for commercial fishing], Rybnoe khozyaystvo [Fisheries" journal], 2009, No. 4, pp. 110-112. ISSN 0131-6184
3. Proekt federal'nogo zakona № 482298-5 «Ob akvakul'ture». Ofitsial'nyy internet-portal Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF [Draft federal law No. 482298-5 «On aquaculture». Official Internet-Portal of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. Available at: <http://mcx.ru/documents/document/show/16771.77.htm> (Accessed 05 February 2016).
4. Spros na produktsiyu akvakul'tury prodolzhaet rasti. Sayt "Rybnye Resursy" [Demand for aquaculture production keeps on growing. A website "National Fish Resources"]. Available at: <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=19765> (Accessed 05 February 2016).
5. Dolgov A.N., Raskita M.A. Tseli i zadachi sozdaniya portativnogo mnogoluchevogo gidrolokatora sektornogo obzora dlya podscheta ryb v ograzhdennykh rayonakh pribrezhnykh morskikh zon rybolovstva i vo vnutrennikh vodoemakh [The objectives of creation of the portable multibeam sector scanning sonar needed for calculating fish in fenced areas of inshore fishing zones and inland waters], Izvestiya YuFU. Tekhnicheskije nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 9 (146), pp. 43-48.
6. Ermol'chev V.A. Ekhschetnye i ekhointegriruyushchie sistemy dlya kolichestvennoy otsenki rybnykh skopleniy [Echo-counting and echo-integrating systems for fish quantity estimation]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1979, 193 p.
7. Dolgov A.N., Kutsenko A.N., Raskita M.A. Razrabotka nauchnogo mnogoluchevogo gidrolokatora sektornogo obzora dlya otsenki zapasov ryb vo vnutrennikh vodoemakh [Development of the scientific multibeam sector scanning sonar for fish stock assessment in inland water bodies], Trudy XII Vserossiyskoy konferentsii «Prikladnye tekhnologii gidroakustiki i gidrofiziki» [Proceedings of the XII Russian conference «Applied technologies for hydroacoustics and hydrophysics»]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2014, pp. 524-527.
8. Dolgov A.N. Teoriya i praktika proektirovaniya trenazherov gidroakusticheskoy ryboposkovoy apparatury [Theory and practice of development of acoustic fish-finding equipment simulators]. Rostov-on-Don: ZAO «Rosizdat», 2009, 400 p.
9. Programmnoe obespechenie sistemy postprotsessingovoy obrabotki rezul'tatov podscheta ryb (PO postprotsessinga). Programma dlya EVM. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2015610782 [Postprocessing software for fish calculation. A computer program. The certificate of state registration of the computer program No.2015610782].
10. Goncharov S.M. Dolgov A.N. Portativnyy gidrolokator sektornogo obzora (PGLS) – novye vozmozhnosti gidroakusticheskogo metoda kolichestvennoy otsenki rybnykh resursov [The portable sector scanning sonar - new possibilities of acoustic method for quantitative estimation of fish], Rybnoe khozyaystvo [“Fisheries” journal], 2015, No. 3, pp. 117-120.

11. Программное обеспечение портативного гидролокатора секторного обзора (PO PGLS). Программа для EVM. Свидетельство о государственной регистрации программы для EVM №2015610783 [Software for the portable sector scanning sonar. A computer program. A certificate of state registration of the computer program No.2015610783].
12. *Simmonds J., MacLennan N.* Fisheries acoustics; Theory and practice. 2nd ed. Blackwell Science, Oxford, 2005, 437 p.
13. *Raskita M.A., Kutsenko A.N., Samotkov O.V.* Kal'kulyator sily tseli. Свидетельство о государственной регистрации программы для EVM №2015618243 [Target strength calculator. The certificate of state registration of the computer program No.2015618243].
14. *MacLennan D.N.* The theory of solid spheres as sonar calibration targets. Scottish Fisheries Research. 1981. Report Number 22.
15. *Dolgov A.N., Tretyakov S.V., Raskita M.A., Kutsenko A.N., Goncharov S.M.* Razrabotka i ispytaniya portativnogo gidrolokatora sektornogo obzora [Development and tests of the portable sector-scan sonar], *Problemy razvitiya korabel'nogo vooruzheniya i sudovogo radioelektronnogo oborudovaniya* [Problems of development of ship rigging and electronics equipment], 2015, No. 4, pp. 125-134.
16. *Dolgov A.N., Kutsenko A.N., Raskita M.A.* Razrabotka algoritma seleksii pelagicheskikh tseley v nauchnom mnogoluchevom gidrolokatore sektornogo obzora [Development of discrimination algorithm of mid-water targets in the scientific multibeam sector scanning sonar], *Trudy XII Vserossiyskoy konferentsii «Prikladnye tekhnologii gidroakustiki i gidrofiziki»* [Proceedings of the XII Russian conference «Applied technologies of hydroacoustics and hydrophysics»]. St. Petersburg: Nauka, 2014, pp. 527-530.
17. *Dolgov A.N., Kutsenko A.N., Raskita M.A.* Ustroystvo dlya poiska i podscheta ryby [An instrument designed to search and calculate fish] Patent na izobretenie No. 2558003. Invention priority 14 aprelya 2014.
18. Simrad ME70 Scientific multibeam echo sounder. Available at: <http://www.simrad.com/www/01/nokbg0240.nsf/AllWeb/96CD4279D3997892C125719A003A3862?OpenDocument> (accessed 05 February 2016).
19. Rukovodstvo po provedeniyu gidroakusticheskikh s"emok [Hydroacoustic survey manual]. Moscow: VNIRO, 1984.
20. Rukovodstvo po sboru i obrabotke akusticheskoy informatsii v protsesse tralovo-akusticheskikh s"emok [Guidelines on acquisition and processing acoustic data during trawl-acoustic surveys]. Murmansk: PINRO, 1989, 60 p.
21. *Borisenko, E.S., Degtev A.I., Mochek A.D., and Pavlov D.S.* Hydroacoustic Characteristics of Mass Fishes of the Ob-Irtysh Basin, *Journal of Ichthyology*, 2006, Vol. 46, Suppl. 2, pp. S227-S234.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

**Долгов Александр Николаевич** – ООО Конструкторское бюро морской электроники «Вектор»; e-mail: [dolgov@vector.ttn.ru](mailto:dolgov@vector.ttn.ru); 347913, г. Таганрог, ул. Менделеева, 6; тел./факс: 88634333900; директор – генеральный конструктор; к.т.н.

**Раскита Максим Анатольевич** – e-mail: [raskita@vector.ttn.ru](mailto:raskita@vector.ttn.ru); с.н.с.; к.т.н.

**Третьяков Сергей Владимирович** – e-mail: [tretyakov@vector.ttn.ru](mailto:tretyakov@vector.ttn.ru); зам. директора по научной работе – начальник комплексного отдела; к.т.н.

**Колосов Кирилл Владимирович** – ООО «Научно-техническое предприятие РЕАКОНТ»; e-mail: [k.v.kolosov@mail.ru](mailto:k.v.kolosov@mail.ru); 115230, г. Москва, Каширское ш., 13А; тел./факс: 84957415576; зам. генерального директора – главный конструктор; к.т.н.

**Куценко Александр Николаевич** – Южный федеральный университет; e-mail: [kan1208@mail.ru](mailto:kan1208@mail.ru); 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371795; кафедра ЭГА и МТ; к.т.н.; доцент.

**Dolgov Alexander Nikolayevich** – Vector Marine Electronics, Ltd; e-mail: [dolgov@vector.ttn.ru](mailto:dolgov@vector.ttn.ru); 6, Mendeleev street, Taganrog, 347913, Russia; phone/fax: +78634333900; director-chief designer; cand. of eng. sc.

**Raskita Maxim Anatolievich** – e-mail: [raskita@vector.ttn.ru](mailto:raskita@vector.ttn.ru); senior research assistant; cand. of eng. sc.

**Tretyakov Sergey Vladimirovich** – e-mail: tretyakov@vector.ttn.ru; deputy director; cand. of eng. sc.

**Kolosov Kirill Vladimirovich** – Reacont Ltd; e-mail: k.v.kolosov@mail.ru; 13A, Kashirskoye shosse, Moscow, 115230, Russia; phone/fax: +74957415576; deputy director; cand. of eng. sc.

**Kutsenko Alexander Nikolayevich** – Southern Federal University; e-mail: kan1208@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone/fax: +78634371795; the department of hydroacoustic and medical engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 551.463.22

**И.И. Микушин, Г.Н. Серавин**

### **КАЛИБРОВКА ИМПУЛЬСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОДЕ**

*Целью проведенных исследований явилось теоретическое обоснование и разработка алгоритма калибровки и градуировки аппаратуры измерения скорости звука (ИСЗ), использующей импульсно-циклический или прямой импульсный метод измерения скорости звука в воде. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: выявлены распределения систематических погрешностей канала измерения скорости звука импульсно-циклических и прямых импульсных ИСЗ в нормальных условиях с применением калибровочных жидкостей (пресная вода, растворы в ней поваренной соли или этилового спирта) и эталонного ИСЗ; выработаны технические предложения по повышению точности измерения скорости звука перспективными импульсными ИСЗ с использованием N-го, а также i-го и N-го отраженных в акустической базе ультразвуковых импульсов; рассмотрены алгоритмы калибровки и градуировки ИСЗ в воде; разработаны основные положения методики градуировки ИСЗ. В результате исследований установлено и экспериментально доказано, что при калибровке ИСЗ необходимо минимизировать погрешность измерения скорости звука программно-аппаратным способом за счет корректуры вводимых коэффициентов преобразования времени распространения импульса (или его частоты) в значение скорости звука, а в последующем при градуировке ИСЗ в процессе его эксплуатации проверять систематическую погрешность измерения скорости звука минимум в двух точках – в середине и на одном конце диапазона измерения.*

*Скорость звука; измеритель; калибровка; градуировка.*

**I.I. Mikushin, G.N. Cerawin**

### **CALIBRATION OF PULSE METERS OF SOUND SPEED IN WATER**

*The aim of the research was a theoretical study and development of calibration and graduation algorithm of the speed of sound measuring equipment, using pulse-cyclical or direct pulse method for the speed of sound measuring in water. To achieve this goal we solved following tasks: distribution identification of systematic errors of the speed of sound measuring using the above method in normal conditions with calibration liquids (fresh water, saline or ethanol solutions in water) and a reference method of the speed of sound measuring; development of technical proposals to improve the measuring accuracy of the speed of sound by the promising pulse measuring equipment using N-th, as well as i-th and N-th ultrasonic pulses present at the acoustic basis; consideration of the calibration and graduation algorithms of the speed of sound measuring in water; development of the basic provisions of the graduation methods for the speed of sound measuring. As a result of studies we found and experimentally proved, that at the calibration it is necessary to minimize the speed of sound measuring error by hardware – software method using correction of input conversion factors of the pulse (or its frequency) propagation time in the value of the speed of sound; and further, at the graduation, the systematic measuring error testing in at least two points – in the middle, and at one end of the measuring range, is needed.*

*Sound speed; meter; calibration; graduation.*