

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДАЛЬНЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ РЫБНЫХ СКОПЛЕНИЙ

В.С. Давыдов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ",  
РФ, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5  
*E-mail: reglament-spb@mail.ru*

Разработан метод, позволяющий распознавать гидролокационные сигналы от рыбных скоплений на фоне донных отражений и повысить, таким образом, дальность обнаружения рыб. Представлены примеры результатов обработки натурных экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** гидроакустический сигнал, гидролокатор, эхо-сигнал, междуцикловая корреляционная обработка, реверберационные помехи.

**Введение.** Известно большое количество отечественных и зарубежных работ, направленных на обнаружение рыб по гидроакустическим сигналам, как шумовым, так и рассеянным рыбными скоплениями. Наибольшее практическое значение имеют работы, связанные с использованием эхолотов и гидролокаторов. С помощью эхолота гидроакустические сигналы, рассеянные на рыбных скоплениях, отчетливо выделяются на фоне донного отражения, так как расстояние от гидроакустической антенны до рыб всегда меньше расстояния до дна. Но для этого судно должно пройти непосредственно над скоплением, для чего необходимо преодолевать значительные расстояния, тратить много времени, расходовать топливо и моторесурс.

Поэтому экономически более выгодным является обнаружение рыбных скоплений с помощью гидролокатора, облучающего подводную акваторию антенной кругового обзора на значительно большие расстояния (нескольких километров), чем глубина районов рыбного промысла. Однако в этом случае трудно различать эхо-сигналы от рыб и от донных отражений, которые могут приходить в разное время на антенну гидролокатора. Для разделения сигналов применяют гидролокаторы с достаточно узкой диаграммой направленности, чтобы исключить приход отражений от дна раньше, чем поступление сигналов, рассеянных на рыбных скоплениях. С этой

целью, в частности, применяют параметрические излучатели, обладающие достаточно узкой диаграммой направленности с малыми боковыми лепестками на сравнительно низких частотах локации (единицы и десятки килогерц). Однако с увеличением дальности растет площадь сечения подводного пространства, облучаемого гидролокатором, в которую могут попадать как рыбные скопления, так и участки дна. В результате дальность действия этого метода ограничена расстоянием от антенны до ближайшего донного участка. Для поиска рыбных скоплений на больших дальностях необходимо различать эхо-сигналы от рыбных скоплений и от донных участков, приходящие в разное время.

Если рыбы движутся с заметными скоростями относительно дна (более 2-3 узлов), то эхо-сигналы от них могут быть обнаружены с помощью доплеровской фильтрации. Однако если скорости рыб незначительны или их перемещения случайны, то обнаружение рыбных скоплений на фоне донных отражений подобно задаче распознавания случайных реверберационных помех и эхо-сигналов от неподвижных и малоподвижных жестких тел. С этой целью иностранными специалистами Г. Ван-Трисом и др. предлагалось использовать оптимальную фильтрацию Калмана-Бьюси [1]. Однако Ван-Трисом было показано, что этот фильтр при решении

рассматриваемой задачи незначительно превосходит по эффективности согласованный фильтр (СФ), но реализация оптимального фильтра Калмана-Бьюси значительно сложнее и требует дополнительной априорной информации. Поэтому на практике для обнаружения рыбных скоплений используют сложные зондирующие сигналы, для которых произведение ширины полосы  $F$  на длительность  $T$  значительно превосходит единицу ( $FT >> 1$ ), и СФ. Однако отклик СФ на эхо-сигнал от неподвижной или малоподвижной цели превосходит отклик на случайную реверберационную помеху не всегда. Поэтому потребовалось разработать метод междуцикловой корреляционной обработки (МКО) сигналов для распознавания эхо-сигналов от неподвижного или малоподвижного тела сложной геометрической формы (например, дна) на фоне случайных реверберационных помех, учитывая различие их статистических характеристик [2, 3].

На основе проведенных гидролокационных исследований показано, что разработанный метод – МКО позволяет распознавать эхо-сигналы от рыбных скоплений и донных отражений. В результате обработки по методу МКО эхо-сигналы от дна и рыбных скоплений отличаются максимальными значениями нормированных знаковых корреляционных функций  $R^{\max}$ .

Тогда распознавание донных отражений выполняется при превышении  $R^{\max}$  порогового уровня  $\psi$ . Порог  $\psi$  устанавливается на основе известных условных плотностей вероятностей величин  $R^{\max}$  для донных отражений  $P[(R^{\max})/\gamma_k]$  и рыбных скоплений  $P[(R^{\max})/\gamma_m]$ , априорных вероятностей появления  $R^{\max}$  для донных отражений  $P(\gamma_k)$  и рыбных скоплений  $P(\gamma_m)$ , функций потерь  $\Pi_{mk}$  при принятии решения о присутствии отражений от дна  $k=1$  (отсутствие  $k=0$ ), если в действительности наблюдается рассеяние на рыбном косяке  $m=0$  (отсутствует  $m=1$ ),  $\Pi_{mm}, \Pi_{kk}$  – функция потерь при верных

решениях. Тогда в соответствии с оптимальным байесовским критерием [1] значения  $R^{\max}$  путем минимизации риска  $W$  разбиваются на две области:  $G_k$  – соответствующую донным отражениям и  $G_m$  – рыбным скоплениям

$$W = \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \int_{G_k} \Pi_{mk} P(\gamma_m) P[(R^{\max})/\gamma_k] d(R^{\max}).$$

В результате разделения отношений  $R^{\max}$  на две области определяется величина  $\psi$ .

Если отсутствует информация о функции потерь ( $\Pi_{mk} = 0, \Pi_{mm} = \Pi_{kk} = 1$ ) и априорных вероятностях  $P(\gamma_k)$ ,  $P(\gamma_m)$ , то порог  $\psi$  определяется только на основе условных плотностей вероятностей

$$\begin{aligned} \int_{G_k} P[(R^{\max})/\gamma_k] d(R^{\max}) &= \\ &= 1 - \int_{G_m} P[(R^{\max})/\gamma_m] d(R^{\max}) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \int_{\psi}^{\infty} P[(R^{\max})/\gamma_k] d(R^{\max}) &= \\ &= 1 - \int_{-\infty}^{\psi} P[(R^{\max})/\gamma_m] d(R^{\max}). \end{aligned}$$

На рис. 1а, б приведены гистограммы распределения максимальных значений  $R^{\max}$  для рыбных скоплений, облучаемых гидролокатором бокового обзора (ГБО). На рис. 1а представлены результаты обработки массива из 39 эхо-сигналов, а на рис. 1б – массива из 52 эхо-сигналов. Рассчитаны средние значения  $R^{\max}$  для массивов из 39 эхо-сигналов и 52 эхо-сигналов. На рис. 1а  $R_{\text{сред.}}^{\max} = 0,48$ ; на рис. 1б  $R_{\text{сред.}}^{\max} = 0,48$ . Аналогично обработаны эхо-сигналы от рыбных скоплений, облучаемых гидролокатором (рис. 2), и представлены результаты обработки эхо-сигналов от одиночных крупных рыб (типа осетров и др.) при облучении их гидролокатором (рис. 3).

### Косяки рыб (ГБО, 50 мкс)

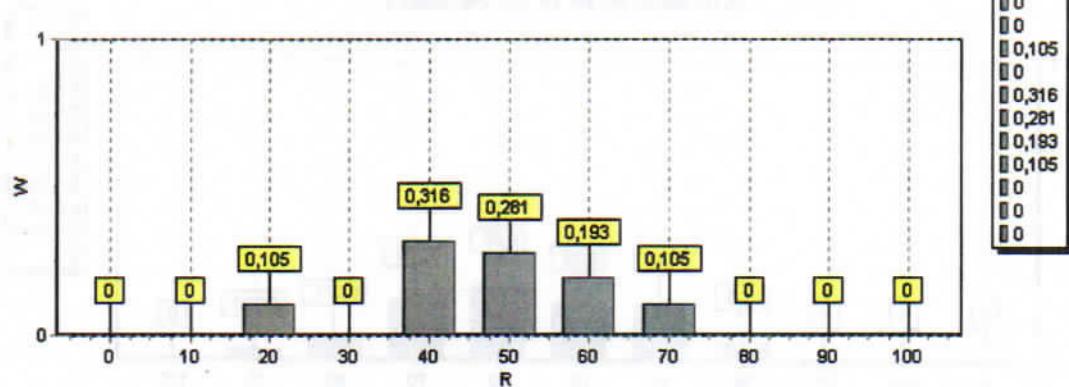


Рис. 1а. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R)  
(R<sub>сред.</sub> = 0,48), обраб. 39 сигн.

### Косяки рыб (ГБО 50,мкс)

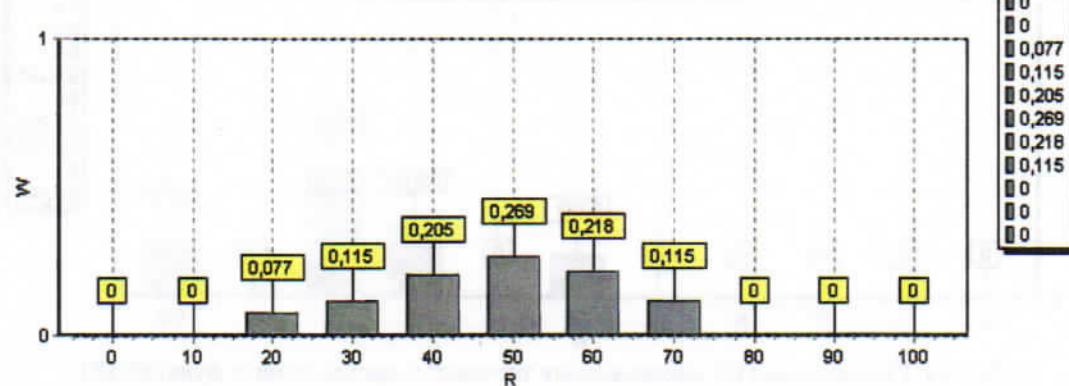


Рис. 1б. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R)  
(R<sub>сред.</sub> = 0,48), обраб. 52 сигн.

### Косяки рыб (ГЛ, 50 мкс)

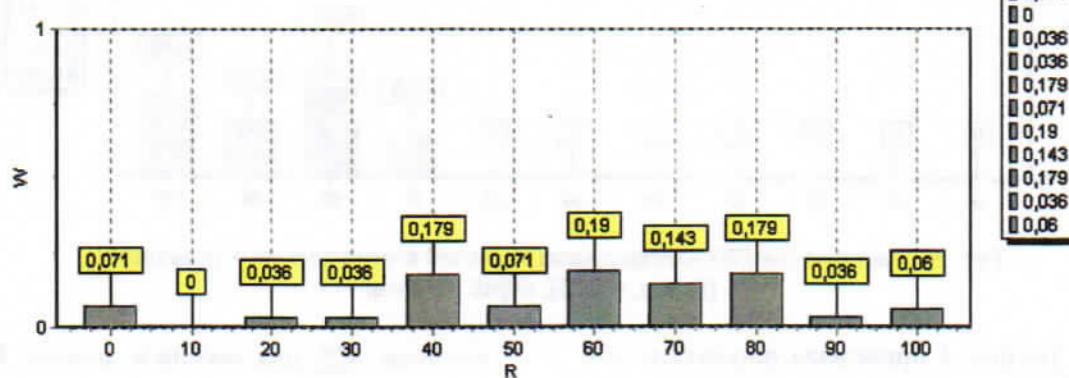


Рис. 2а. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R)  
(R<sub>сред.</sub> = 0,57), обраб. 56 сигн.

### Косыки рыб (ГЛ, 50 мкс)

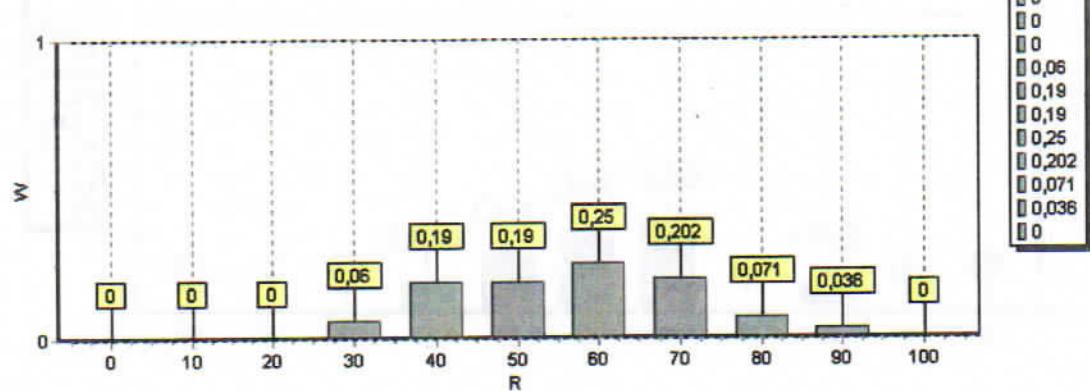


Рис. 2б. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R) ( $R_{\text{сред.}} = 0,57$ ), обраб. 56 сигн.

### Одиночные рыбы (ГЛ, 50 мкс)

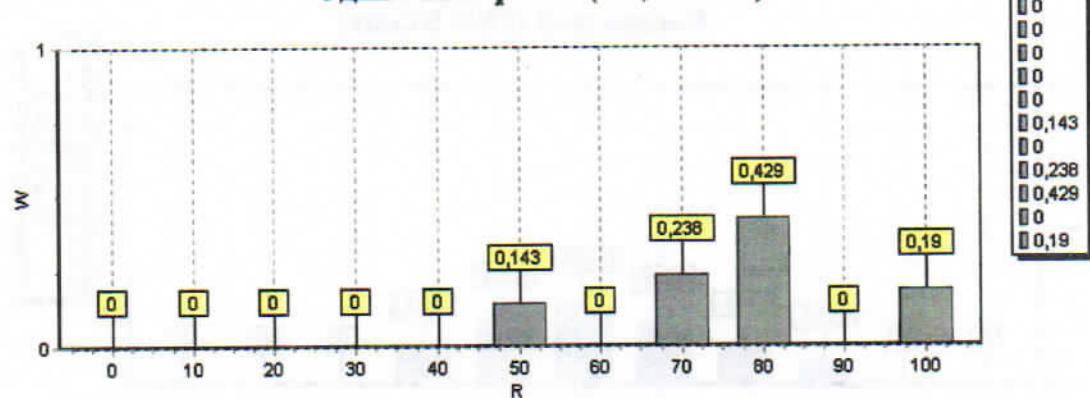


Рис. 3а. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R) ( $R_{\text{сред.}} = 0,77$ ), обраб. 15 сигн.

### Одиночные рыбы (ГЛ, 50 мкс)

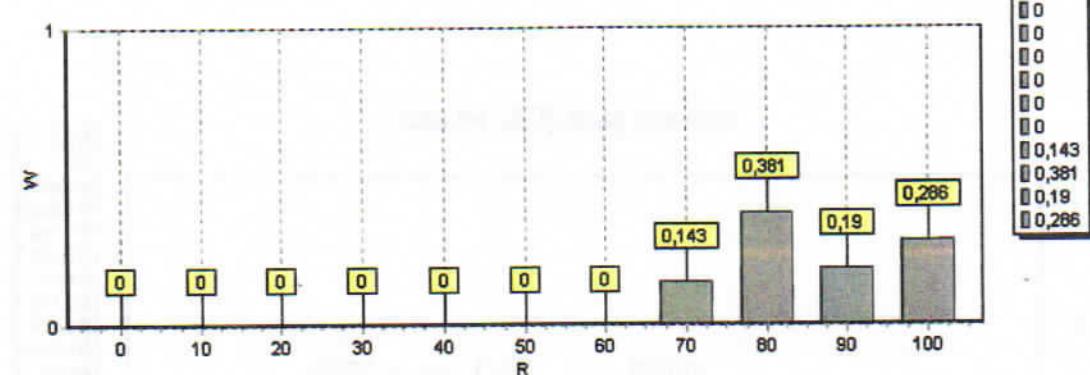


Рис. 3б. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R) ( $R_{\text{сред.}} = 0,86$ ), обраб. 15 сигн.

На рис. 4 приведены результаты обработки отраженных сигналов от дна при использовании гидролокатора, представлены также гистограммы распределения  $R^{\max}$  и рассчитаны их средние

значения  $R_{\text{сред.}}^{\max}$  для массивов данных. На рис. 5 представлены результаты обработки отраженных сигналов от дна при использовании гидролокатора бокового обзора (ГБО).

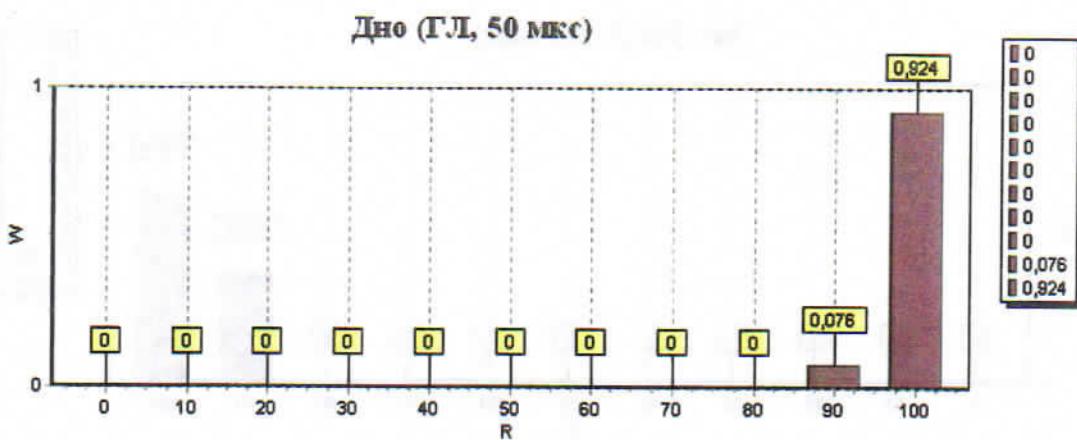


Рис. 4а. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R) ( $R_{\text{сред.}} = 0,99$ ), обраб. 501 сигн.

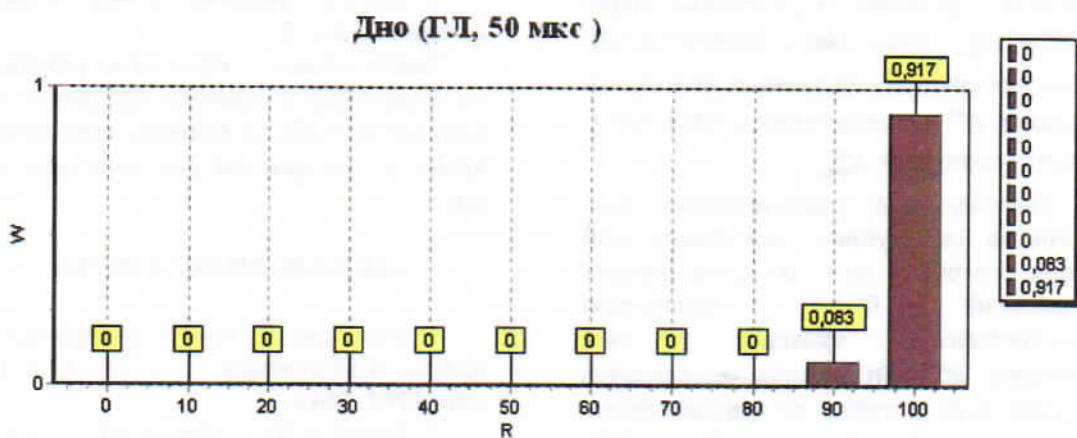


Рис. 4б. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R) ( $R_{\text{сред.}} = 0,99$ ), обраб. 25 сигн.

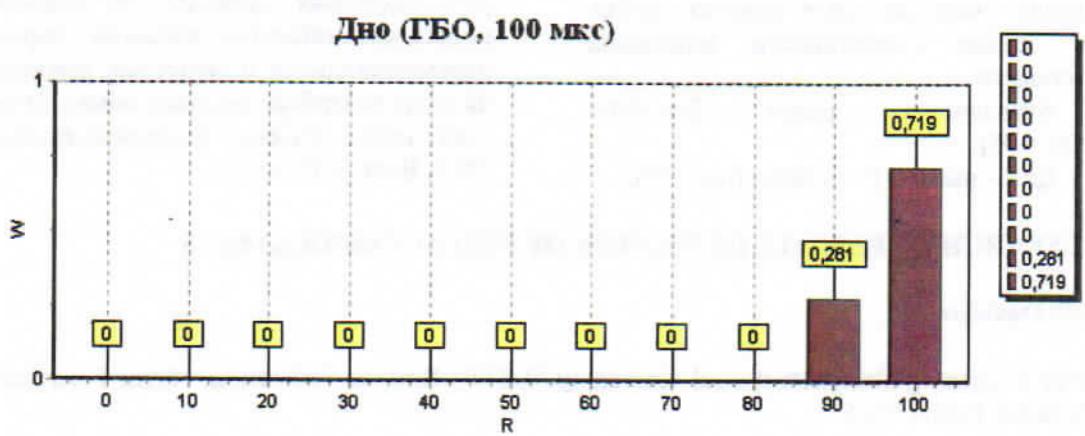


Рис. 5а. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R) ( $R_{\text{сред.}} = 0,97$ ), обраб. 500 сигн.

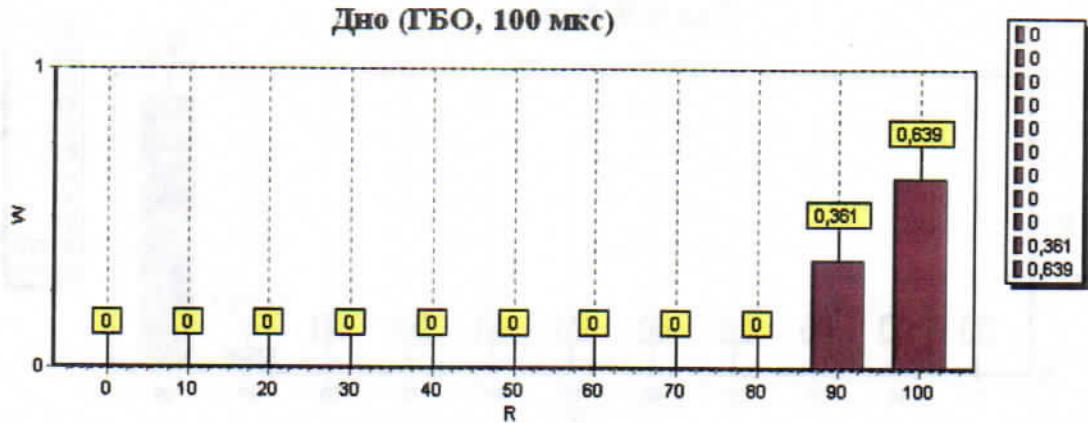


Рис. 56. Гистограмма (W) максимальных значений корреляционных функций (R)  
( $R_{\text{срд}} = 0,96$ ), образ. 24 сигн.

Видно, что гистограммы  $R_{\text{срд}}^{\max}$  заметно отличаются для рыбных скоплений и донных отражений, усредненные параметры  $R_{\text{срд}}^{\max}$  существенно различны. Однако для крупных одиночных рыб гистограммы  $R_{\text{срд}}^{\max}$  перекрываются, мало отличаются величины  $R_{\text{срд}}^{\max}$ .

Поэтому для распознавания эхосигналов от крупных одиночных рыб (типа осетров и др.) на фоне донных отражений были привлечены дополнительные признаки в эхосигналах  $R_{\text{срд}}^{\max}$ ,  $R_1$ ,  $t_{\text{срд}}$  для эхосигналов от дна, рыб, а также от аквалангистов. При использовании совокупности этих признаков проведено успешное распознавание эхосигналов от дна, рыб и аквалангистов. Вероятность правильного распознавания –  $P$  по методу максимального правдоподобия на основе совокупности признаков составили:

Аквалангист – рыбы –  $P = 100\%$  ( $100 \div 95$ );

Дно – рыбы –  $P = 100\%$  ( $100 \div 95$ );

Аквалангист – дно –  $P = 100\%$  ( $100 \div 95$ ).

В скобках указаны доверительные интервалы для  $P$ .

**Заключение.** Полученные результаты позволяют увеличить дальность обнаружения рыбных косяков, сэкономить время и моторесурс рыболовецких судов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ван-Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции: Т. 3. М.: Сов. радио, 1977. 664 с.

2. Давыдов В.С., Иванов Ю.Г. Способ распознавания целей от случайных реверберационных помех (патент на изобретение № 2366973).

3. Давыдов В.С. Распознавание гидролокационных сигналов от морских подводных объектов сложной формы, перемещающихся в скрытых режимах, на фоне реверберационных помех. Известия вузов России. Радиоэлектроника 2011. Вып. 5. С. 34–43.

## RESEARCH OF REMOTE DETECTION OF FISH ACCUMULATIONS

V.S. Davidov

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Russian Federation, Saint Petersburg,  
Professor Popov St., 5

The method that makes it possible to recognize sonar signals from fish accumulations against the background of bottom reflections and thus increase the detection range of fish has been developed. Examples of results of processing of actual experimental data are presented.

**Keywords:** hydroacoustic signal, sonar, echo signal, intercycle correlation processing, reverberation interference.