

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ФОТОПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО ПОДВОДНОГО ЛИДАРА

HARDWARE-SOFTWARE PHOTO-RECEIVING UNIT OF THE UNDERWATER LIDAR

**S. Rozov
M. Yagudin**

Summary. The article is devoted to the development of a hardware-software two-channel device for receiving and processing the backscattered signal of an underwater lidar using the NI LabVIEW software environment for processing and visualization of the signal, as well as control the device for the allocation of extended inhomogeneity of the aqueous medium with a change in the refractive index by 20% to a depth of 100 meters. The developed device can be modified to use the required component base without significant structural changes

Keywords: underwater lidar, the backscatter signal, a photodetector, LabVIEW.

Дистанционное зондирование верхнего слоя океана с помощью лидаров применяется для измерения гидрооптических параметров морской воды, картографирования рельефа прибрежных районов морского дна, изучения экологической обстановки вблизи поверхности океана.

К настоящему времени было предложено несколько методов лазерного зондирования водной среды, однако наибольшее распространение получила схема простого импульсного лидара, которая позволяет достичь максимальной глубины зондирования. Принцип действия такого лидара состоит в излучении в толщу воды коротких световых импульсов в узком телесном угле и приём сигналов обратного рассеяния (СОР), несущих информацию о распределении слоёв мутности и препятствиях на пути зондирующего излучения.

В связи с сильным поглощением и рассеянием в воде, принимаемый лидаром сигнал обратного рассеяния быстро затухает с глубиной по закону близкому к экспоненциальному [2]. Максимальная глубина зондирования определяется величиной ослабления сигнала в водной среде, энергией излучаемых импульсов, величиной солнечной засветки и шумами системы. В прозрачных океанских водах с показателем ослабления $\sim 0,1 \text{ м}^{-1}$ глубина зондирования может составлять более 100 м, тогда как в более мутных водах она существенно меньше.

Розов Сергей Владимирович

*К.т.н., Санкт-Петербургский политехнический университет Петра, Великого, Россия, г. Санкт-Петербург
svroz@yandex.ru*

Ягудин Митрофан Минрауфович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, г. Санкт-Петербург

Аннотация. Статья посвящена разработке программно-аппаратного двухканального устройства приема и обработки сигнала обратного рассеяния подводного лидара с использованием программной среды NI LabVIEW для обработки и визуализации сигнала, а также управления устройством для выделения протяженной неоднородности водной среды с изменением показателя преломления на 20% до глубины 100 метров. Разработанное устройство может быть модифицировано под использование требуемой компонентной базы без существенных конструктивных изменений.

Ключевые слова: подводный лидар, сигнал обратного рассеяния, фотоприемник, LabVIEW.

В ходе данной работы было разработано макет программно-аппаратного двухканального устройства приема и обработки СОР подводного лидара с использованием программной среды NI LabVIEW для обработки и визуализации сигнала и управления устройством для выделения протяженной неоднородности водной среды с изменением показателя преломления на 20% до глубины 100 метров.

Алгоритм обработки сигнала обратного рассеяния

На данный момент применяются следующие алгоритмы обработки СОР[3]:

1. Нормировка сигналов лидара на максимум мощности излучения лазера.
2. Корректировка привязки сигналов лидара к моменту излучения лазерного импульса.
3. Разбиение приемного устройства на два канала приема сильного и слабого сигнала.
4. Логарифмирование сигналов.
5. Нормировка на сигнал чистой воды.
6. Усреднение данных за заданный промежуток времени.
7. Обработка сигналов двух каналов поляризованного лидара.
8. Применение статистических методов обработки сигналов.
9. Свертка сигналов.

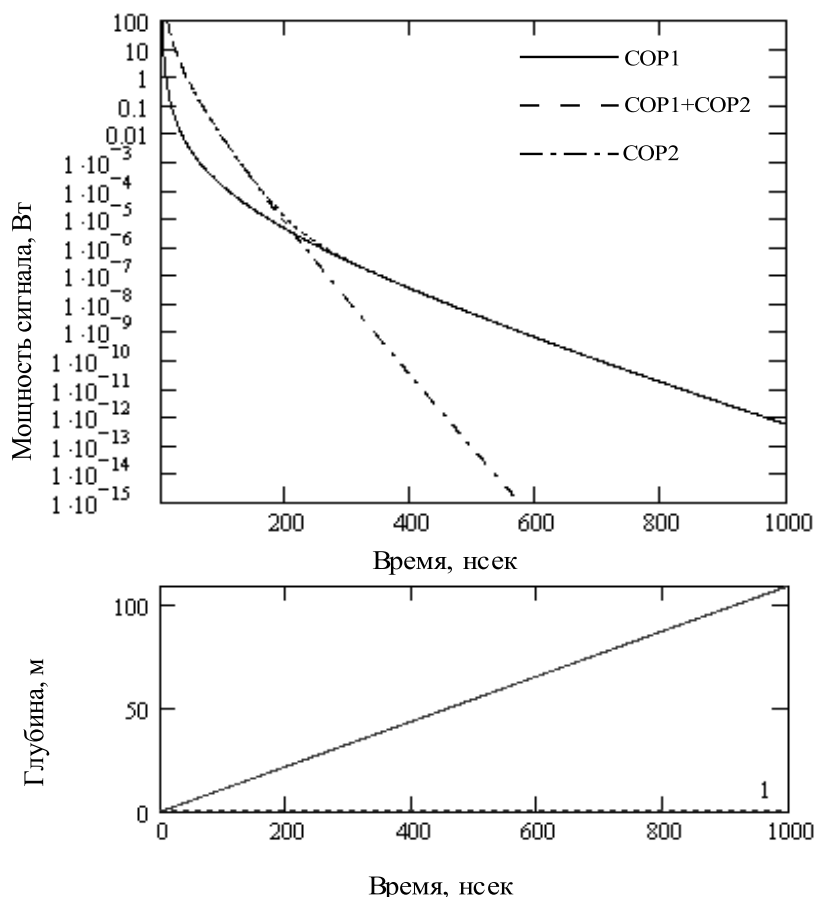


Рис. 1. Зависимость COP от глубины

В проектируемом устройстве применены алгоритмы обработки с 1 по 6. Возможно осуществить применение остальных алгоритмов при доработке устройства.

Мощность сигнала обратного рассеяния [1] определяется соотношением между уровнями сигналов, сформированными за счет однократного и многократного рассеяния:

$$P_{COP}(z) = P_{COP1}(z) + P_{COP2}(z) \quad (1)$$

где $P_{COP1}(z)$ -мощность сигнала COP в приближении однократного рассеяния:

$$\frac{P_{COP1}(z)}{P_0} = K_{opt} \left(\frac{\sigma_{x_{пстум}}}{8n} \right) r_n^2 \exp(-2\varepsilon z) \frac{\alpha_n^2}{\alpha_n^2 + \alpha_n'^2}, \quad z \gg b \quad (2)$$

$P_{COP2}(z)$ - мощность сигнала COP в приближении многократного рассеяния:

$$\frac{P_{COP2}(z)}{P_0} = K_{opt} \left(\frac{\sigma_{x_{пстум}}}{8n} \right) \frac{r_n^2 \exp[-2\varepsilon z(1-\Lambda)] \alpha_n^2}{4\mu^2(\Lambda\varepsilon)z^2 + (\alpha_n^2 + \alpha_n'^2)z^2} \quad (3)$$

На основе рекомендаций и соотношений, приведенных в источниках, при расчете были использованы следующие значения параметров лидара и морской воды:

$\sigma=0,15$ – коэффициент поглощения;
 $\varepsilon=0,25$ – коэффициент ослабления;
 $\chi_{п}=0,024$; $\mu=0,071$ – параметры индикатрисы рассеяния;

$\Lambda=0,6$ – вероятность выживания фотона;
 $g_{п}=0,1$ – радиус приемного объектива;
 $t_{им}=5$ нс – длительность импульса;
 $n=1,35$ – коэффициент преломления воды;
КОПТ – коэффициент потерь света в оптической системе ($\sim 0,7$).

$\alpha_{п}=\alpha_{и}=0,01$ – полуширина поля зрения приемника и половина ширины луча лазерного передатчика;

По формулам (1), (2), (3) построен график зависимости (рис. 1) уровня входного сигнала от времени для сигналов COP1 и COP2 и суммарного сигнала для лазера на Nd:Yag с длиной волны 532 нм, длительностью 5 нсек и энергией 400мДж, так же приведен график соответствия времени и глубины.

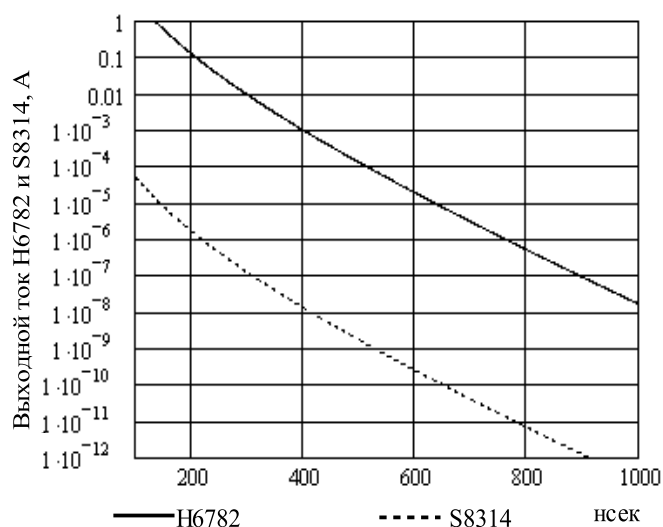


Рис. 2. Выходной сигнал ФЭУ H6780 и

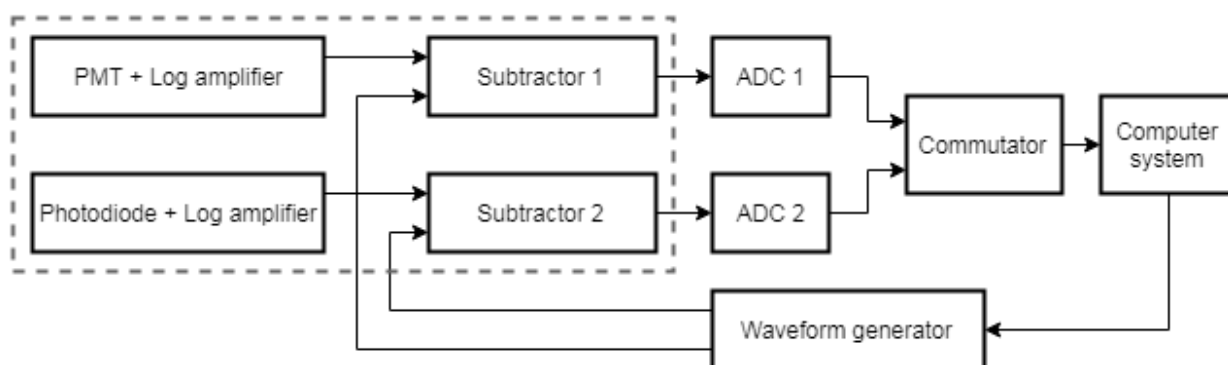


Рис. 3. Структурная схема устройства обработки сигнала

Принцип работы и структурная схема

В связи с тем, что мощность сигнала обратного рассеяния с увеличением глубины убывает экспоненциально, динамический диапазон СОР для глубин от 5 до 100 метров равен $\sim 10^{13}$ (рис. 1), в то время как динамический диапазон ФЭУ не превышает $\sim 10^{10}$. В связи с этим, приемную часть лидара целесообразно разделить на два канала — большой и малой мощности. Кроме этого, по данным фирмы Hamamatsu [4], деградация ФЭУ типа H5773/H6780, связанная с засветкой мощным сигналом, начинается при превышении выходного тока ФЭУ 100 мкА, т.е. точка деления каналов соответствует глубинам 20–30 м. В этом случае в качестве фотоприемного устройства канала большой мощности целесообразно использовать фотодиод (типа S8314). На рис. 2 показан зависимость выходного тока ФЭУ и фотодиода от глубины.

Структурная схема и алгоритм обработки СОР

Структурная схема устройства обработки сигнала представлена на рис. 3.

С ФПУ сигналы обоих каналов проходят через логарифмические усилители, где зависимость мощности СОР от времени становится близкой линейной. Затем, сигналы обоих каналов поступают на вычитающие устройства, где происходит нормировка на сигнал чистой воды. Для этого на вычитающем устройстве из выходного сигнала логарифмирующего усилителя вычитается сигнал с генератора сигналов специальной формы (ГССФ).

Генерация сигнала чистой воды производится в программной среде LabVIEW. Форма сигнала может быть задана двумя способами: рассчитана как усреднение многократно измеренных СОР в данном водоеме на на-

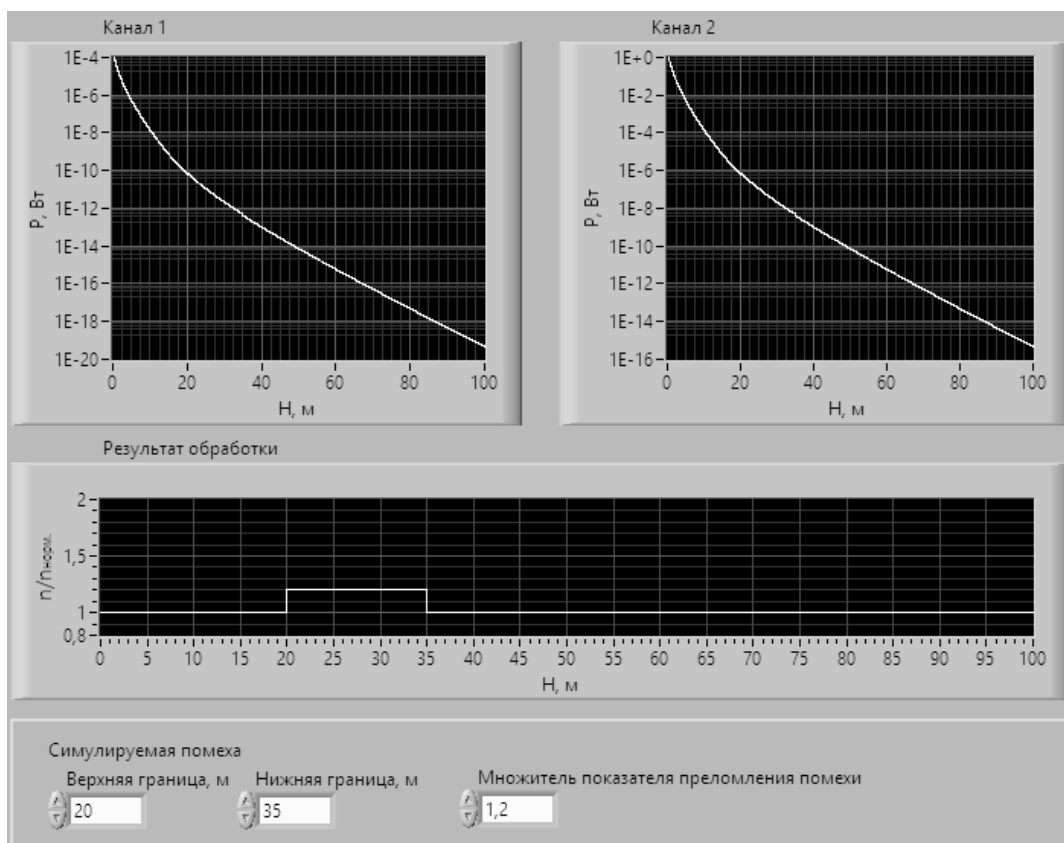


Рис. 4. Обработка сигнала обратного рассеяния на глубине 20–35 м

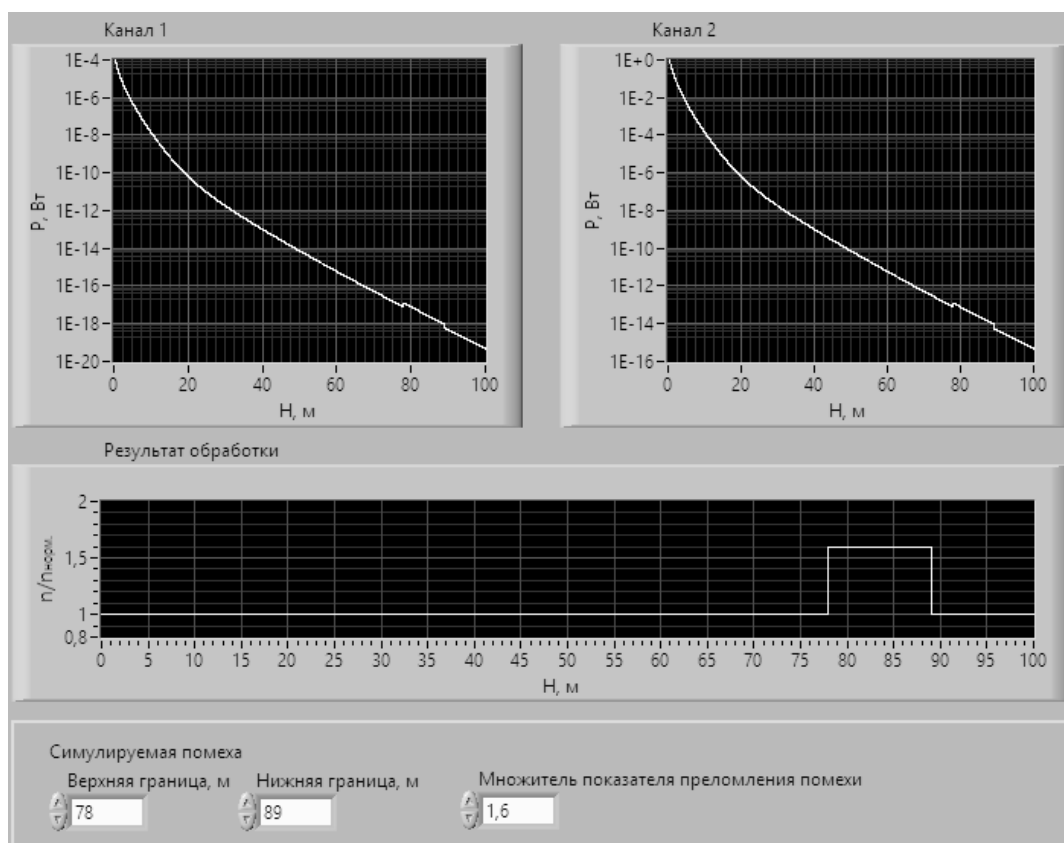


Рис. 5. Обработка сигнала обратного рассеяния на глубине 78–89 м.

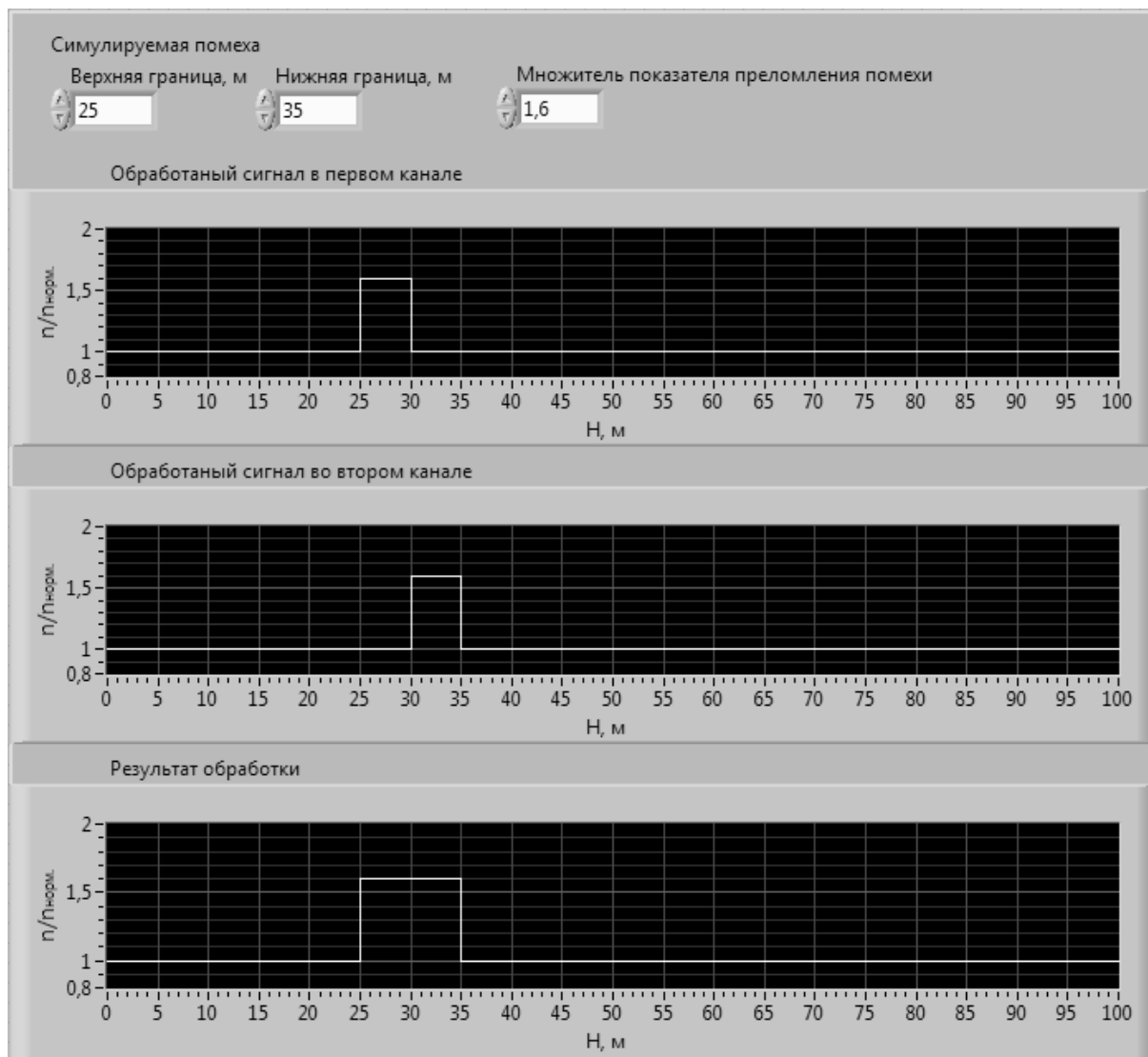


Рис. 6. Результат обработки симулированного сигнала с помехой, расположенной на границе разделения каналов.

чальном этапе работы или задана по формуле (1) с учетом всех характеристик соответствующих водоему.

С выхода вычитающих устройств сигналы поступают на аналоговые входы АЦП и в программной среде NI LabVIEW производится их оцифровка. Оцифрованные сигналы «сшиваются» в коммутирующем ВП, канал 1 предназначен для работы с большими сигналами (глубина менее 30 м), канал 2 — с малыми сигналами (глубина более 30 м). Затем коммутированный сигнал обоих каналов подается на вход программного устройства обработки СОР.

Применение вычитающего устройства до АЦП позволяет при сохранении точности и динамического диапазона устройства в целом, резко уменьшить требуемую разрядность АЦП.

Фотоприемники на базе ФЭУ и фотодиода, логарифмические усилители и вычитающие устройства выполнены отдельным блоком. Управление и обработка сигналов АЦП 1 и АЦП 2и коммутирующего устройства реализуются в программной среде NI LabVIEW. В работе применено 2-канальное 14-разрядное АЦП типа SignatecPDA14 с возможностью управления от внешнего триггера. Также предусмотрена внутрипрограммная коммутация данных при использовании АЦП другого типа и замене драйвера устройства (АЦП PCI-5153 фирмы National Instruments). ГССФ выполнен на базе программируемого генератора сигналов LeCroy 9109 с управлением от разработанного устройства. Синхронизация работы устройства в целом осуществляется от блока управления лазерным излучением (на схеме не показано).

В программной части устройства используются два виртуальных прибора (ВП):

- ♦ ВП для обработки сигнала, осуществляющий собствен прием и обработку сигналов АЦП и запись и визуализацию данных.
- ♦ ВП включающий в себя блок симуляции сигнала лидара с регулируемой глубиной расположения помехи и показателем преломления помехи и блок обработки этого сигнала, а также формирует сигнал «чистой воды» и управляет ГССФ.

В режиме симуляции ВП также формирует имитационный сигнал неоднородности, подаваемый на вход вычитающего устройства со второго выхода ГССФ. Далее работа устройства происходит аналогично вышеописанному. Программным способом можно также добавлять имитацию шумов СОР и приемного тракта

На рис. 4 и 5 представлены результаты работы ВП:

На рис. 6 показан вид сигналов на входе и выходе коммутирующего устройства в случае присутствия протяженной неоднородности, расположенной на глубине с 25 до 35 метров (одновременно в обоих каналах), с показателем преломления в 1.6 раза превышающим показатель преломления чистой воды.

Как видно из рисунка, в случае симулированного сигнала с помехой, расположенной на границе каналов, сигнал обрабатывается корректно и общий сигнал неоднородности является суперпозицией сигналов каждого их каналов.

Разработанное двуканальное фотоприемное устройство сигналов обратного рассеяния подводного лидара позволяет визуально определить присутствие и расположение протяженной неоднородности водной среды при изменении коэффициента преломления воды на 20%. Применение фотодиода в канале приема сильного сигнала позволяют использовать его для подводного лидара с глубиной зондирования практически от 0 м до 90–100 метров без опасности деградирования фотодетекторов.

При дальнейшей доработке прибора возможно добавление программного определения типа преграды (водная среда с отличающимся показателем преломления/затухания, или непрозрачная преграда/дно) по величине отклика СОР.

Разработанное приемное устройство подводного лидара может быть без существенных конструктивных изменений модифицировано под использование требуемой компонентной базы. Целесообразно перейти на платформу приборов PXI для уменьшения габаритов системы и использования более современных устройств ввода/вывода данных.

Также, для увеличения достоверности результатов обнаружения и увеличения максимальной глубины зондирования, возможно проведение вторичной обработки сигнала методами свертки и статистической обработки сигналов в этой же программе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карасик В.Е., Орлов В. М. Лазерные системы видения: Учебное пособие. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2001–352с.
2. Лучинин А. Г. Теория подводного лидара со сложно модулированным пучком подсветки // Известия российской академии наук. Физика атмосферы и океана 2012. Т. 48. № 6. С. 663–671.
3. Dolin L.S., Dolina I. S., Savel'ev V.A. A lidar method for determining internal wave characteristics // Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics. 2012. Т. 48. № 4. С. 444–453.
4. PHOTOMULTIPLIER TUBES. Basic and applications http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_handbook_v3aE.pdf?ga=2.79821791.971815948.1522684571-1904463120.1522684571 (02.04.2018)

© Розов Сергей Владимирович (svroz@yandex.ru), Ягудин Митрофан Минрауфович.
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»