

УДК 535.8:53.082

© В. Н. Носов\*, В. Д. Володин, С. Г. Иванов

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, 119991, ул. Косыгина, д. 19, г. Москва, Россия

\*e-mail: viktor\_nosov@mail.ru

## ЛАЗЕРНЫЙ ЛОКАТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРКАЛЬНЫХ БЛИКОВ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ВЕЕРНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ЗОНДИРУЮЩЕГО ПУЧКА

Статья поступила в редакцию 13.02.2020, после доработки 29.03.2020

Дано описание макета нового компактного лазерного локатора, предназначенного для дистанционной регистрации характеристик морского волнения с борта судна. Прибор регистрирует с помощью ПЗС-линейки отраженное от морской поверхности лазерное излучение, имеющее форму «веера». В макете использован лазерный диод Oclaro HL63193, работающий в непрерывном режиме в области длин волн 634–637 нм с выходной мощностью до 500 мВт. Освещаемый лазером участок на морской поверхности представляет собой полосу шириной 4–5 мм и длиной 2–3 м (при размещении макета на судне на высоте 6–9 м над уровнем моря). Приемный блок макета выполнен на базе кинопроекторного объектива ОП-55АР и ПЗС-линейки Sony ILX554А. Выполнена проверка работоспособности макета в лабораторных и морских условиях. Показано, что скорость сканирования морской поверхности может быть значительно выше (до 833 Гц), чем у ранее созданных макетов с узким пучком, когда используется механическое сканирование зеркала (7–15 Гц). Это позволяет увеличивать скорость накопления данных и тем самым уменьшать дисперсию измеряемых за заданное время величин, что в свою очередь делает возможным регистрацию более слабых воздействий гидродинамических процессов на морскую поверхность. При этом масса макета уменьшилась до 5 кг вместо 35 кг (у макета с узким пучком и механическим сканером).

**Ключевые слова:** морское волнение, лазерный локатор, веерная диаграмма направленности, многоэлементный фотоприемник, ПЗС-линейка.

© V. N. Nosov\*, V. D. Volodin, S. G. Ivanov

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, 119991, Kosygina Str., 19, Moscow, Russia

\*e-mail: viktor\_nosov@mail.ru

## LASER LOCATOR FOR RECORDING STATISTICAL CHARACTERISTICS OF MIRROR REFLECTIONS ON THE SEA SURFACE WITH A FAN PATTERN OF THE PROBING BEAM

Received 13.02.2020, in final form 29.03.2020

A description of the set-up of a new compact optoelectronic device designed for remote registration of sea wave characteristics from the ship's board is given. The device registers laser radiation reflected from the sea surface in the form of a "fan" using a CCD arrays. The device uses the Oclaro HL63193 laser diode, which operates in continuous mode in the region of 634–637 nm wavelengths with an output power of up to 500 mW. The area illuminated by the laser on the sea surface is a band 3–5 mm wide and 2–3 m long (when placing the device on a ship at an altitude of 6–9 m above sea level). The receiving unit of the device is based on the OP-55AR film projection lens and the Sony ILX554A CCD arrays. The device has been tested in laboratory and marine conditions. It is shown that the speed of scanning the sea surface can be significantly higher (up to 833 Hz) than in previously created models with a narrow beam when using mechanical mirror scanning (7–15 Hz). This makes it possible to increase the speed of data accumulation and thereby reduce the dispersion of the values measured over a given time, which in turn makes it possible to register weaker impacts of hydrodynamic processes on the sea surface. At the same time, the weight of the layout was reduced to 5 kg instead of 35 kg (for a layout with a narrow beam and a mechanical scanner).

**Key words:** sea waves, laser locator, fan pattern, multi-element photodetector, CCD arrays.

Ссылка для цитирования: Носов В.Н., Володин В.Д., Иванов С.Г. Лазерный локатор для регистрации статистических характеристик зеркальных бликов на морской поверхности с веерной диаграммой направленности зондирующего пучка // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2020. Т. 13, № 2. С. 88–95. doi: 10.7868/S2073667320020112

For citation: Nosov V.N., Volodin V.D., Ivanov S.G. Laser locator for recording statistical characteristics of mirror reflections on the sea surface with a fan pattern of the probing beam. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2020, 13, 2, 88–95. doi: 10.7868/S2073667320020112

## 1. Введение

Измерение характеристик морской поверхности позволяет исследовать гидродинамические процессы (ГДП), происходящие в морской среде. Для таких измерений могут использоваться радиолокационные и лазерно-оптические методы, позволяющие выполнять измерения дистанционным образом, как с борта судна, так и с авиа и космического носителя [1–3]. Как правило, используются методы, позволяющие определять спектры волнения и функции распределения уклонов морской поверхности, в том числе, по ее изображениям в солнечном свете [4, 5]. В работе [5] представлен метод восстановления пространственных вариаций среднеквадратичного наклона морской поверхности по изображениям солнечного блика, получаемых со спутниковых оптических сканеров.

Для исследования морской поверхности могут также использоваться лазерные профилометры (альтиметры), расположенные на авиационных и космических носителях [6, 7]. Для проверки эффективности работы методов могут использоваться источники гидродинамического возмущения морской среды с известными параметрами, например,двигающееся судно. В работах [8, 9] выполнена регистрация ГДП в виде следа судна с борта самолета и Международной космической станции с использованием мультиспектральной съемки и цифровой фотографии, соответственно. Одним из эффективных методов для дистанционного исследования характеристик волнения является использование лазерных локаторов, работающих в импульсном или непрерывном режиме. Как правило, в локаторах выполняется последовательное сканирование узкого лазерного луча по морской поверхности с последующим приемом луча, отраженного назад от участков волн, перпендикулярных к падающему лучу [10–16]. Такой подход позволяет выполнять измерения с борта судна или авиа носителя при относительно небольшой мощности лазерного излучения. Однако при работе в дневных условиях для получения отраженного сигнала достаточной величины, превышающей уровень фонового сигнала от яркости моря, необходимо использовать приемные объективы с очень малым полем зрения и большой апертурой. Для уменьшения фонового сигнала от яркости моря необходимо совместное сканирование лазерного луча и поля зрения приемного объектива. Это резко увеличивает габариты и массу аппаратуры, а также ограничивает скорость сканирования, что, в свою очередь, снижает объем получаемых данных, так как время измерения часто ограничено пространственными масштабами исследуемого ГДП и скоростью движения носителя аппаратуры. При ограниченном времени накопления сигнала его дисперсия может оказаться достаточно значительной, что затруднит регистрацию небольших изменений характеристик морского волнения, происходящих вследствие воздействия ГДП на морскую поверхность. Кроме того, наличие механического сканирования ограничивает ресурс локатора, а также вносит в его работу вибрационные помехи.

## 2. Принцип действия

В разработанном макете малогабаритного лазерного локатора (МЛЛ) применен подход, в котором морская поверхность (МП) освещается лазерным лучом с веерной диаграммой направленности с последующей регистрацией отраженных от МП лазерных бликов многоэлементным приемником. Использование «веерной» формы пучка при подсветке МП лазерным лучом и регистрации получаемых бликовых сигналов в общих чертах описано в патенте [17]. Принцип действия разработанного нами лазерного локатора пояснен на рис. 1.

Веерная диаграмма лазерного излучения представляет собой плоский «лист» с угловой шириной менее 1 мрад (в одном направлении) и углом раствора (засвечивания) около  $20^\circ$  (в другом направлении). Размещенный на судне локатор подвешивается над

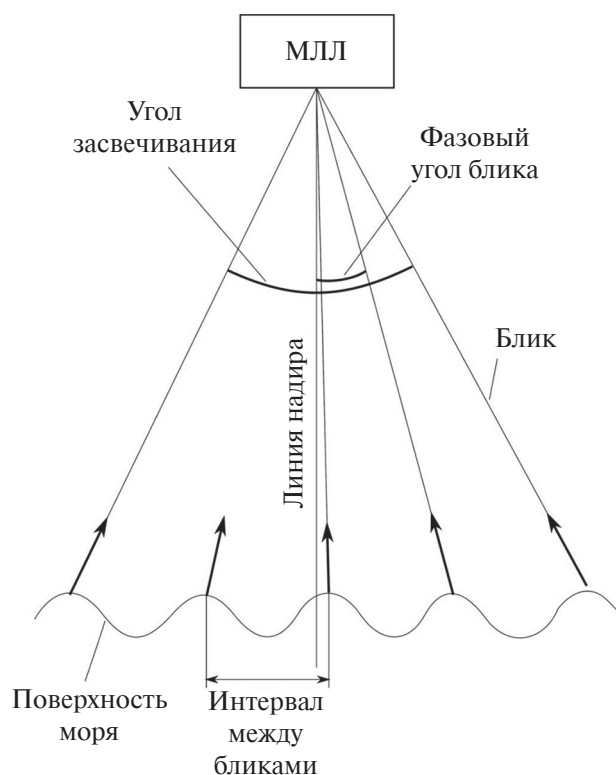


Рис. 1. Принцип действия малогабаритного лазерного локатора (МЛЛ).

Fig. 1. The principle of operation of small-sized laser locator (SSL).

морем на балке на высоте 6–9 м над уровнем моря, таким образом, чтобы ось лазерного луча была направлена вблизи надира к МП. Освещаемый лазером участок на морской поверхности представляет собой узкую полосу шириной 4–5 мм и длиной 2–3 м. С помощью приемного объектива изображение лазерной полосы фокусируется на линейный многоэлементный фотоприемник. При этом участки МП, расположенные перпендикулярно падающему лучу лазера, порождают яркие точки в изображении на многоэлементном приемнике. Интенсивность и расстояние между этими лазерными бликами содержат информацию о радиусах кривизны волнения, пространственном периоде и уклонах морских волн. Такой подход позволяет перейти от последовательного сканирования МП узким лазерным лучом к одновременной регистрации изображения всей линии засветки локатора за существенно меньшее время. В этом случае скорость сканирования (частота измерения) может быть увеличена до 800 измерений в секунду в зависимости от характеристик многоэлементного фотоприемника, быстродействия АЦП и процессора, а также ширины полосы информационного канала.

### 3. Измеряемые характеристики морской поверхности

Как показано в работе [18], мощность отраженного от морской поверхности лазерного излучения пропорциональна квадрату радиуса кривизны морской поверхности. Поэтому, после проведения предварительной калибровки сигнала локатора по стеклянным сферам известной кривизны, из натуральных измерений могут быть рассчитаны радиусы кривизны волнения. При движении судна носителя аппаратуры, после соответствующей обработки, могут быть получены гистограммы распределения радиусов кривизны морского волнения вдоль пути следования судна, которые несут информацию о воздействии ГДП на морскую поверхность.

Кроме того, с учетом веерной формы лазерного луча, позволяющей направлять на морскую поверхность лучи в диапазоне углов  $\pm 10^\circ$  от надира, из положений отраженных импульсов на ПЗС-линейке, задаваемых фазовым углом (рис. 1), также могут быть получены данные об уклонах волн и их пространственном масштабе. Величина угла раствора лазерного луча обусловлена средним диапазоном уклонов волн, которые могут наблюдаться в морских условиях  $\pm 12^\circ$ . Увеличение угла раствора лазерного луча больше  $24^\circ$  приводит лишь к уменьшению плотности мощности падающего на МП лазерного излучения и, соответственно, снижению отношения сигнал/фон без существенного увеличения дополнительных данных об уклонах волнения.

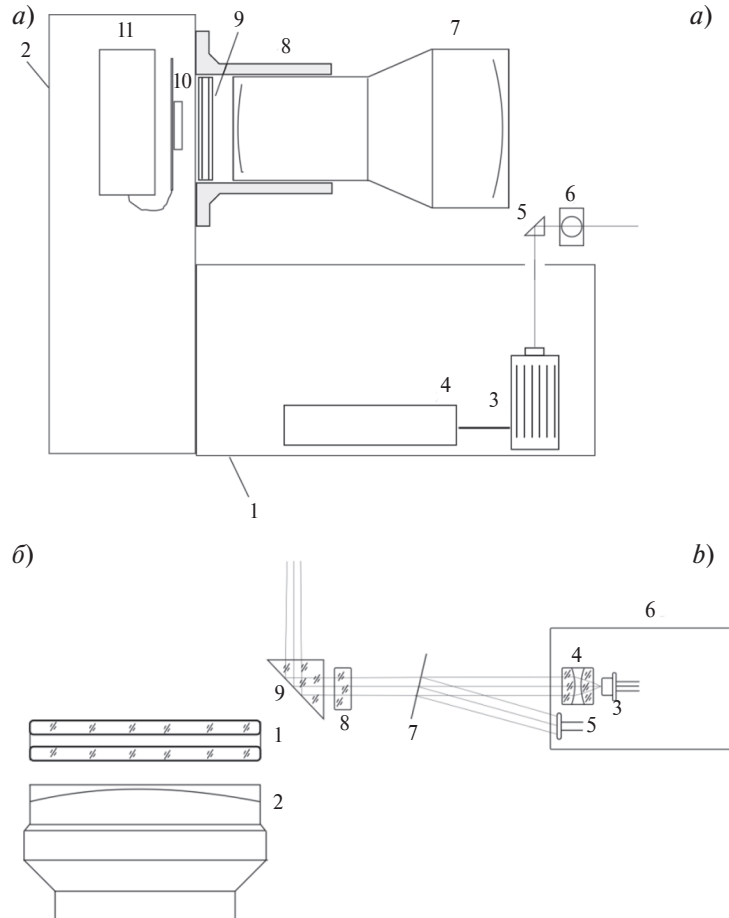
Получаемые при таком способе сканирования данные идентичны данным, получаемым с помощью лазерного локатора с узким лазерным лучом при последовательном сканировании.

### 4. Конструкция

Схема конструкции и компоновки описываемого макета малогабаритного лазерного локатора приведена на рис. 2. Конструктивной основой его являются два соединенных буквой Г прямоугольных алюминиевых корпуса 1 и 2, образующих жесткую коробчатую конструкцию. В одном из этих корпусов располагается передающая часть (лазер), а в другой — приемная часть. Габаритные размеры прибора (без брызгозащитного кожуха и подвеса) составляют  $220 \times 171 \times 121$  мм без учета выступающих разъемов.

Передающая часть состоит из лазера 3 со схемой питания 4 и цилиндрической линзы 6, к которой излучение лазера направляется с помощью призмы 5. Отраженное от морской поверхности излучение принимается объективом 7, установленным в резьбовом фокусирующем узле 8, проходит через интерференционный фильтр 9 и фокусируется на ПЗС-линейке 10. Сигнал с линейки обрабатывается электронным блоком 11, с которого сигналы подаются по длинному кабелю на ноутбук, располагаемый в каюте судна.

Оптическая схема передающей части более подробно изображена на рис. 2, б. В корпусе лазерного излучателя 6, служащем одновременно теплоотводом, установлены лазерный диод 3, коллиматор 4 и фотодиод 5. Зондирующее излучение лазера выводится из герметичного объема передающего блока МЛЛ через просветленное окно 7, установленное наклонно к пучку для предотвращения попадания отраженного пучка на лазерный диод, и одновременно часть мощности (около 0.2 %) отражается от окна и направляется на фотодиод, сигнал с которого используется для контроля мощности лазера. За пределами герметичного объема на выносном узле установлена цилиндрическая линза, формирующая на морской поверхности прямую линию. Для максимального сближения оптических осей приемника и передатчика использована призма 9, установленная у края апертуры приемника. В качестве приемного объектива использован светосильный телецентрический кинопроекторный объектив ОП-55АР с фокусным расстоянием 100 мм и рабочим диаметром 49 мм. Величина пропускания интерференционного фильтра 633ВР10 в диапазоне длин волн 634–637 нм для излучения передающего лазерного излучателя составляет 38 %.



**Рис. 2.** Схема макета МЛЛ с веерной диаграммой направленности излучения. *а* — Схема конструкции и компоновки МЛЛ. Цифрами обозначены: 1 — корпус передающей части, 2 — корпус приемной части, 3 — лазерный излучатель, 4 — источник питания лазера, 5 — призма, 6 — цилиндрическая линза, 7 — объектив, 8 — фокусирующий узел, 9 — интерференционный светофильтр, 10 — ПЗС-линейка, 11 — блок цифровой обработки сигналов. *б* — Оптическая схема МЛЛ. Цифрами обозначены: 1 — интерференционный светофильтр, 2 — объектив, 3 — лазерный диод, 4 — коллиматор, 5 — фотодиод, 6 — корпус лазерного излучателя, 7 — выходное окно передающей части, 8 — цилиндрическая линза, 9 — 90° призма.

**Fig. 2.** Small-sized laser locator layout layout diagram with a fan radiation pattern. *a* — General view of small-sized laser locator layout. Indicated by digits: 1 — transmitter unit container, 2 — receiver unit container, 3 — laser unit, 4 — LD power supply, 5 — prism, 6 — cylinder lens, 7 — imaging lens, 8 — focuser unit, 9 — narrow-band interference filter, 10 — linear CCD chip, 11 — digital signal processing unit. *b* — Optical layout view of small-sized laser locator. Indicated by digits: 1 — narrow-band interference filter, 2 — imaging lens, 3 — laser diode, 4 — collimator lens, 5 — photodiode, 6 — housing of laser unit, 7 — output window of transmitter unit, 8 — cylinder lens, 9 — 90° prism.

Для точного согласования положения засвеченной лазером полосы на поверхности моря и поля зрения приемника призма и цилиндрическая линза установлены в юстировочном приспособлении, позволяющем поворачивать цилиндрическую линзу на небольшие углы вокруг ее оси, а призму в поперечном направлении. Положение лазерного диода и коллиматорной линзы подбиралось по минимальной ширине на заданной дистанции проецируемой на экран линии лазерного луча.

По результатам лабораторного испытания оптической системы локатора в сборе, достигнута ширина линии, проецируемой на дистанции 9 м, не более 5 мм по уровню 50 % (угловая расходимость в продольном направлении 0.5 мрад). Угол раствора лепестка диаграммы направленности в поперечном направлении по уровню 50 % составляет 17.5°, что отвечает длине полосы 2.8 м.

Масса макета без системы подвеса и стабилизации не превышает 5 кг.

### 5. Электрическая схема лазерного локатора

Блок схема электронной части макета МЛЛ изображена на рис. 3.

Передающий блок выполнен на основе лазерного диода Oclaro HL63193, работающего в непрерывном режиме в области длин волн 634–637 нм с выходной мощностью до 500 мВт. Схема питания лазера представляет собой стабилизатор тока и дискретно управляется внешним сигналом от микроконтроллера.

Приемный блок макета МЛЛ выполнен на базе ПЗС-линейки Sony ILX554A, имеющей 2048 полезных элементов (размером 14 × 56 мкм) на участке длиной 30 мм. Электронная часть блока выполнена в виде трех печатных плат: модуля ПЗС-линейки, кросс-платы и платы микроконтроллера. Сигналы тактирования, необходимые для работы ПЗС линейки и АЦП, вырабатываются программным образом микроконтроллером. Он же осуществляет управление экспозицией (в интервале 10 мкс...1 мс), последовательный опрос линейки АЦП, считывание данных с АЦП и первичную обработку данных с частотой не менее 50 сканирований в секунду. Связь микроконтроллера с компьютером оператора осуществляется посредством интерфейса RS485. Также аналоговые сигналы вынесены на отдельный разъем, к которому возможно подключение внешнего АЦП или осциллографа.

Для сокращения объема обрабатываемой информации и повышения динамического диапазона и соотношения сигнал/шум, на этапе считывания пиксели объединяются попарно суммированием считанных из них значений. Таким образом, с матрицы длиной 2048 полезных пикселей считывается 1024 значения, соответствующих вдвоенным пикселям.

Скорость сканирования в данном приборе ограничена двумя факторами: длительностью рабочего цикла ПЗС-линейки и скоростью передачи данных. Длительность цикла является суммой времени экспозиции (10–100 мкс), защитных интервалов (суммарно около 50 мкс) и длительностью считывания (1045 мкс) и составляет около 1200 мкс. Таким образом, максимальная частота сканирования, ограниченная быстродействием фотоприемного устройства, составляет 833 Гц. В данной реализации с целью сокращения объема передаваемых и накапливаемых данных частота сканирования была ограничена до 50 Гц, но может быть увеличена в несколько раз без каких-либо изменений конструкции и без ухудшения других технических характеристик.

В созданных нами ранее сканирующих лазерных локаторах на основе механического сканирования узкого лазерного пучка скорость сканирования составляла 7–15 Гц. При этом вес прибора составлял около 35 кг.

### 6. Оценка уровней сигналов МЛЛ и их экспериментальное подтверждение

Расчеты показывают, что при высоте размещения макета над уровнем моря 6.5 м, облученность морской поверхности лазерным «веерным» излучением составляет  $E_{обл} = 62.5 \text{ Вт/м}^2$  при полосе засветки  $2 \times 4 \text{ мм}$  и мощности лазера 500 мВт. При этом мощность излучения от лазерного блика, приходящаяся на вдвоенный пиксель ПЗС-матрицы фотоприемника (размером  $28 \times 56 \text{ мкм}$ ) составляет  $5.6 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$  при радиусе кривизны волны 10 мм. Оценка мощности фоновой засветки от яркости моря при дневном освещении в солнечный день (на основе данных работы [19]) в полосе 10 нм на длине волны 635 нм, приходящейся

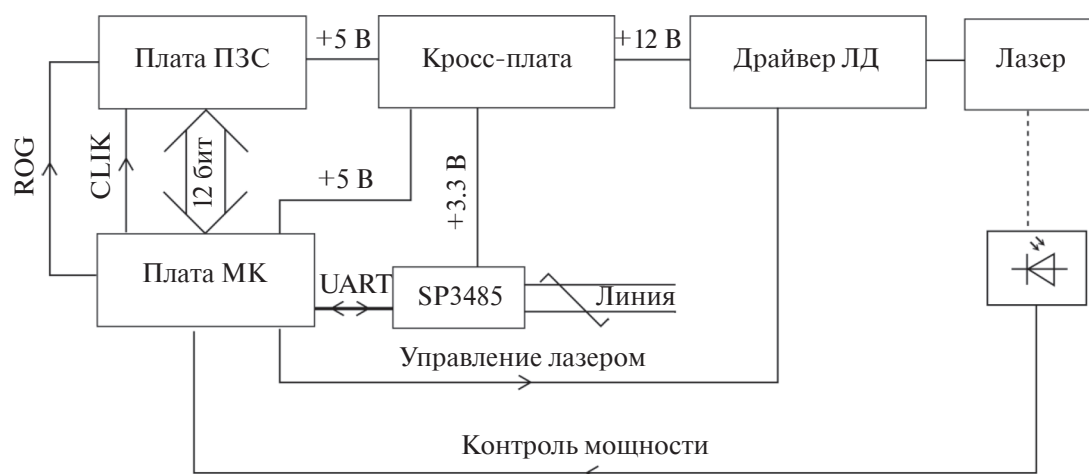
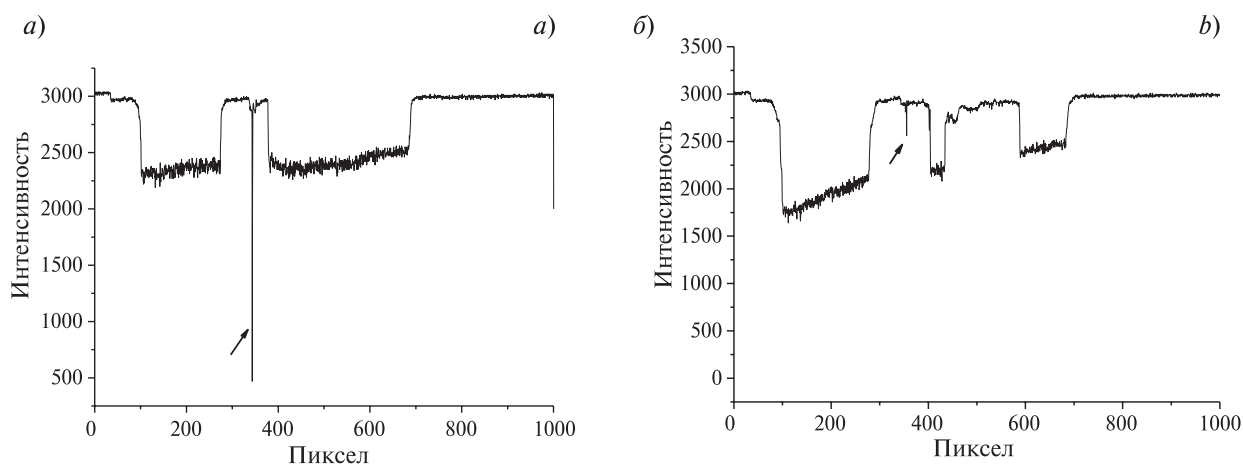


Рис. 3. Блок схема электронной части макета МЛЛ.

Fig. 3. Flow diagram of the electronic part of the small-sized laser locator layout.



**Рис. 4.** Зависимости уровня отраженного сигнала от координаты вдоль ПЗС-линейки, зарегистрированные от тестовых объектов сферической формы радиусом 25 (а) и 6 мм (б). Сигналы указаны стрелкой, полярность обратная. Экспозиция кадра 10 мкс. Интенсивность отраженного излучения приведена в отчетах АЦП.

**Fig. 4.** The dependence of the reflected signal level on the coordinates along the CCD arrays registered from test objects of spherical shape with a radius of 25 (a) and 6 mm (b). Signals indicated by an arrow, the polarity is reversed. The exposure of the frame is 10 microseconds. The intensity of the reflected radiation is given in the ADC counts.

на двоексель, дает значительно меньшую величину и составляет  $4 \cdot 10^{-12}$  Вт, что делает возможным выполнение измерений в дневное время суток при отсутствии попадания прямых бликов от Солнца, отраженных морской поверхностью.

Для экспериментального подтверждения расчета в лабораторных условиях на расстоянии 8 м от лазерного локатора были установлены мишени-имитаторы мелкомасштабных элементов ряби, в качестве которых использовались заполненная водой стеклянная сферическая колба радиусом 25 мм (рис. 4, а) и плоско-выпуклая линза с радиусом 6 мм, задняя поверхность которой зачернена (рис. 4, б). Сигналы отражений в обоих случаях отчетливо фиксируются на записи сигнала ПЗС-линейки в виде узкого (1–2 пиксела) пика, уверенно обнаруживаемого на фоне шума с отношением сигнал/шум, соответственно, 78 и 10. В соответствии с техническими характеристиками ПЗС-линейки, энергетический эквивалент шума равен  $4 \cdot 10^{-13}$  Вт при нулевой освещенности и  $1.2 \cdot 10^{-12}$  Вт при мощности светового потока фоновой засветки  $3 \cdot 10^{-11}$  Вт.

## 7. Испытание лазерного локатора в морских условиях

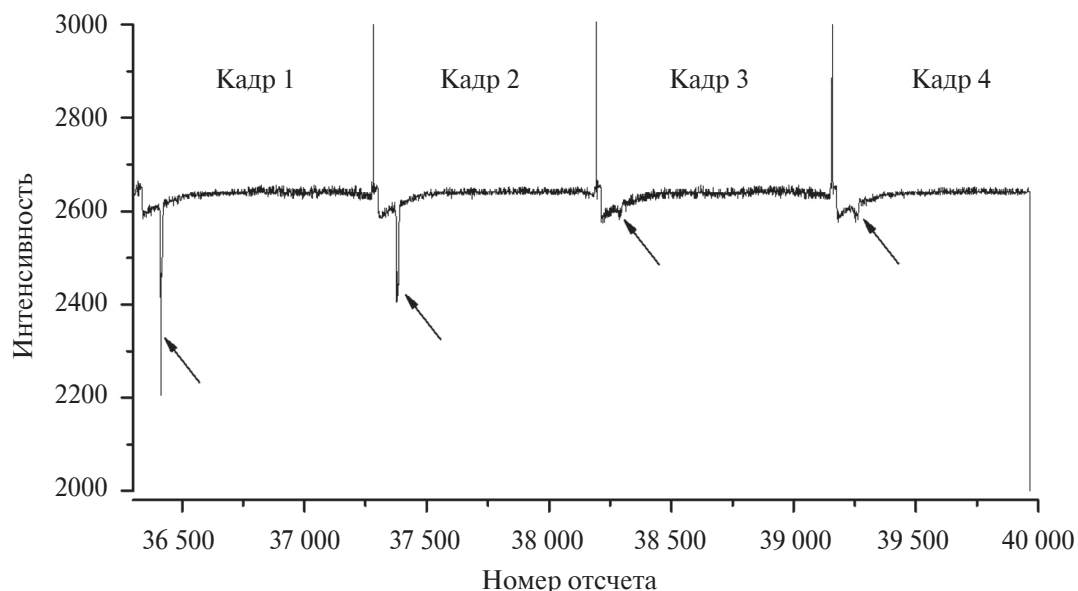
Лазерный локатор испытывался вблизи побережья Камчатки в ходе проведения морской экспедиции в августе 2018 г. и подтвердил свою работоспособность в натуральных условиях. При полностью открытом объективе отраженный от моря лазерный сигнал оказался слишком большим и приводил к «пересветке» ПЗС-линейки. Для уменьшения уровня сигналов при перед приемным объективом устанавливались диафрагмы диаметром 2.5–4.5 мм, уменьшающие световой поток в 150–270 раз. При этом экспозиция кадра составляла около 10 мкс. Измерения выполнялись в волнении моря не более 3-х баллов.

Пример сигнала (четыре кадра подряд с интервалом 20 мс) с отражением от волнения приведен на рис. 5. Видна эволюция отражающего элемента волны (указан стрелкой) в течение времени регистрации.

Скорость выполнения измерений ограничивается скоростью передачи данных по линии связи. Наличие в составе МЛЛ микроконтроллера со сравнительно высокой вычислительной производительностью (200 MIPS) дает возможность организовать предварительную обработку и сжатие собранной при сканировании информации, что позволяет сократить объем передаваемой информации и повысить скорость сканирования в 5–10 раз.

## 8. Заключение

Использование лазерного излучателя с веерообразной диаграммой направленности и многоэлементного фотоприемника (ПЗС-линейки) позволило создать макет малогабаритного лазерного локатора морской волны, в котором не используется механическая развертка луча. При этом основные характеристики не уступают, а скорость сканирования (число зарегистрированных изображений засвеченных лазером полос в единицу времени) может быть значительно выше до (833 Гц), чем у ранее созданных макетов с узким пучком, когда используется



**Рис. 5.** Последовательные кадры сканирования поверхности моря (через 20 мс). Интенсивность отраженного излучения приведена в отсчетах АЦП.

**Fig. 5.** Sequential frames of scanning the sea surface (after 20 ms). The intensity of the reflected radiation is given in the ADC counts.

механическое сканирование зеркала (7–15 Гц). Это позволяет увеличивать скорость накопления данных и, тем самым, уменьшать дисперсию измеряемых за заданное время величин, что в свою очередь делает возможным регистрацию более слабых воздействий ГДП на морскую поверхность. Кроме того, масса макета МЛЛ в несколько раз менее массы лазерного локатора с механическим сканированием луча лазера. Ресурс разработанного локатора не ограничен ресурсом механического сканера, а также здесь исключены вибрационные помехи.

## Литература

1. Оптика океана. Т. 2. Прикладная оптика океана / Отв. ред. А. С. Монин. М.: Наука, 1983. 236 с.
2. Рис. У. Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера, 2006. 335 с.
3. Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д. и др. Океанология: средства и методы океанологических исследований / Международная ассоциация академий наук, Российская академия наук, Национальная академия наук Украины. М.: Наука, 2005. 795 с.
4. Баханов В.В., Демакова А.А., Кориненко А.Е., Рябкова М.С., Титов В.И. Оценка спектров ветровых волн с длинами волн от сантиметров до метра по изображениям поверхности моря // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 3 (201). С. 192–205.
5. Мясоедов А.Г., Кудрявцев В.Н. Оценка контрастов поверхностных проявлений океанических явлений по изображениям солнечного блика // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. СПб., РГГМУ. 2010. № 16. С. 94–114.
6. Муру Э.Л., Павлова Т.В. Определение высоты и периодов морских волн по характеристикам оптических сигналов, отраженных от морских поверхностей // Некогерентные методы измерения океанографических параметров / Под ред. Трузинова В. М. и Киреева И. В. М.: Гидрометеиздат, 1977. С. 133–141.
7. Бафтон Дж.Л. Лазерные альтиметрические измерения с борта самолета и космических аппаратов // ТИИЭР. 1989. Т. 77, № 3. С. 71–90.
8. Wright R., Deloatch J., Osgood S., Yuan J. The spectral reflectance of ship wakes between 400 and 900 nanometers // International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2012. P. 4186–4189.
9. Носов В.Н., Иванов С.Г., Тимонин В.И., Подгребенков А.Л., Плишкин А.Н., Каледин С.Б., Глебова Т.В., Ядренцев А.Н., Захаров В.К. Совместный космический и морской эксперимент по комплексной регистрации следа судна // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8, № 4. С. 34–35.
10. Пелевин В.Н., Атунин А.И., Ефимова Л.А. Дистанционные измерения параметров морского волнения методами лазерной техники // Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов / Под. ред. Г. И. Галазий. Таллин, 1980. С. 46–49.
11. Гольдин Ю.А., Кагайн В.Е., Кельбалиханов Б.Ф., Локк Я.Ф., Пелевин В.Н. Локация волнующейся поверхности моря с помощью ОКГ с борта вертолета // Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов / Под. ред. Г. И. Галазий. Новосибирск: Наука, 1979. С. 135–140.

12. Ву Ж., Хаймбах С.П., Хсу Ю.Л. Сканирующий прибор для исследования ветровой ряби на поверхности моря // Приборы для научных исследований. 1981. № 8. С. 120–126.
13. Носов В.Н., Пашин С.Ю. Статистические характеристики ветрового волнения в гравитационно-капиллярной области спектра // Изв. АН СССР ФАО. 1990. Т. 26, № 11. С. 1161–1169.
14. Носов В.Н., Пашин С.Ю., Хандогин Д.К., Дубнер А.Б. Об использовании метода лазерного сканирования для регистрации анизотропии поверхностного волнения // Изв. АН СССР ФАО. 1990. Т. 26, № 2. С. 206–212.
15. Горелов А.М., Зевакин Е.А., Иванов С.Г., Каледин С.Б., Леонов С.О., Носов В.Н., Савин А.С. О комплексном подходе к дистанционной регистрации гидродинамических возмущений морской среды оптическими методами // Физические основы приборостроения. 2012. Т. 1, № 4. С. 58–65.
16. Носов В.Н., Иванов С.Г., Каледин С.Б., Тимонин В.И. Исследование анизотропии статистических характеристик ветрового волнения при воздействии гидродинамических возмущений лазерно-бликовым методом // Процессы в геосредах. 2018. № 1 (14). С. 757–764.
17. Toshiyuki Y., Kiyotoshi N., Kelichi U., Katsutochi O. Maritime monitoring/searching method. Патент JP 2010133802 (A).
18. Barrick D.E. Rough surface scattering based on the specular point theory // IEEE Trans. On Anten. And Prop. 1968. V. AP-16. N 4. P. 449–454.
19. Артемьев В.А., Буренков В.И., Возняк С.Б., Григорьев А.В., Дарецки М., Демидов А., Копелевич О.В., Французов О. Н., Храпко А. Н. Подспутниковые измерения цвета океана: натурный эксперимент в Черном и Эгейском морях // Океанология. 2000. Т. 40, № 2. С. 192–198.

## References

1. Ocean optics. Vol. 2. Applied optics of the ocean / Ed. A. S. Monin. Moscow, Nauka, 1983. 236 p. (in Russian).
2. Ris U. Basics of remote sensing. Moscow, Technosphere, 2006, 335 p. (in Russian).
3. Smirnov G.V., Ereemeev V.N., Ageev M.D. et al. Oceanology: means and methods of Oceanological research / Internat. Associations. Acad. of Sciences, Russian Academy of Sciences, NAT. Acad. Sciences. Moscow, Nauka, 2005. 795 p. (in Russian).
4. Bakhanov V.V., Demakova A.A., Korinenko A.E., Ryabkova M.S., Titov V.I. Estimation of the Wind Wave Spectra with Centimeters-to-Meter Lengths by the Sea Surface Images. *Physical Oceanography*. 2018, 25, 3, 177–190.
5. Myasoedov A.G., Kudryavtsev V.N. Estimation of contrasts of surface manifestations of oceanic phenomena based on images of solar glare. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2010, 16, 94–114 (in Russian).
6. Muro E.L., Pavlova T.V. Determining the height and periods of sea waves based on the characteristics of optical signals reflected from sea surfaces. *Incoherent Methods for Measuring Oceanographic Parameters* / Ed. Truzinova V. M. and Kireeva I. V. Moscow, Gidrometeoizdat, 1977, 133–141 (in Russian).
7. Bufton George.L. Laser altimetric measurements from aircraft and spacecraft. *TIHER*. 1989, 77, 3, 71–90.
8. Wright R., Deloatch J., Osgood S., Yuan J. The spectral reflection of ship was between 400 and 900 nanometers. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 2012, Article number 6351746, 4186–4189.
9. Nosov V.N., Ivanov S.G., Timonin V.I., Podgrebenkov A.L., Plishkin A.N., Kaledin S.B., Glebova T.V., Yadrentsev A.N., Zakharov V.K. Joint space and marine experiment on complex registration of a ship's trace. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2015, 8, 4, 34–35 (in Russian).
10. Pelevin V.N., Altunin A.I., Efimova L.A. Remote measurements of sea wave parameters using laser techniques. *Optical Methods for Studying Oceans and Inland Reservoirs* / Ed. by G. I. Galaziy. Tallinn, 1980, 46–49 (in Russian).
11. Goldin Y.A., Kagan V.E., Kelbaliyev B.F., Locke J.F., Pelevin V.N. Location rippling the surface of the sea with the help of the JAG helicopter. *Optical Methods for Studying Oceans and Inland Reservoirs* / Ed. by G. I. Galaziy. Novosibirsk, Nauka, 1979, 135–140 (in Russian).
12. Wu J., Haimbach S.P., Hsu Y.-H.L. Scanner for measuring fine sea surface structures. *Rev. Sci. Instrum.* 1981, 52, 8, 1246–1251.
13. Nosov V. N., Pashin S. Yu. Statistical characteristics of wind waves in the gravitational-capillary region of the spectrum. *Izv. AN SSSR, FАO*. 1990, 26, 11, 1161–1169 (in Russian).
14. Nosov V.N., Pashin S.Yu., Khandogin D.K., Dubner A.B. on the use of laser scanning method for registration of surface wave anisotropy. *Izv. AN SSSR, FАO*. 1990, 26, 2, 206–212.
15. Gorelov A.M., Zevakin E.A., Ivanov S.G., Kaledin S.B., Leonov S.O., Nosov V.N., Savin A.S. On a comprehensive approach to remote registration of hydrodynamic perturbations of the marine environment by optical methods. *Physical Bases of Instrumentation*. 2012, 1, 4, 58–65 (in Russian).
16. Nosov V.N., Ivanov S.G., Kaledin S.B., Timonin V.I. Investigation of the anisotropy of statistical characteristics of wind waves under the influence of hydrodynamic perturbations by the laser-glare method. *Processy v Geosredakh*. 2018, 1(14), 757–764 (in Russian).
17. Toshiyuki Y., Kiyotoshi N., Kalicha U., Katsutochi O. Maritime monitoring/searching method. *Patent JP 2010133802 (A)*.
18. Barrick D.E. Rough surface scattering based on the specular point theory. *IEEE Trans. On Antenna and Prop.* 1968, AP-16, 4, 449–454.
19. Artemev V.A., Burenkov V.I., Wozniak S.B., Grigoriev A.V., Dareki M., Demidov A., Kopelevich O.V., Frenchov O.N., Khrapko A.N. Subsatellite measurements of ocean color: a full-scale experiment in the Black and Aegean Seas. *Oceanology*. 2000, 40, 2, 192–198 (in Russian).