

## ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

doi: 10.51639/2713-0568\_2022\_2\_3\_4

УДК 535.8

ГРНТИ 47.35.31

ВАК 01.04.21

### Лазерное зондирование под водой сквозь полупрозрачные препятствия на дистанцию 9 метров

<sup>1</sup> Першин С. М., <sup>1</sup> Гришин М. Я., <sup>1</sup> Завозин В. А., Титовец П. А.,  
<sup>2\*</sup> Федюк М. О., <sup>2</sup> Смольский А. А.

<sup>1</sup> *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук  
119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова 38*

<sup>2</sup> *Московский технический университет связи и информатики  
111024, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная 8а, с. 39*

e-mail: [m.o.fedyuk@mtuci.ru](mailto:m.o.fedyuk@mtuci.ru)

Использование лидара для зондирования пространства вокруг погружного робота сквозь полупрозрачные препятствия позволяет более эффективно решать задачу подводной навигации. Метод лазерного зондирования заключается в излучении коротких лазерных импульсов большой мощности и последующим их детектированием, путём подсчёта фотонов, отражённых от объектов на пути распространения пучка. Такой метод зондирования менее подвержен влиянию мутности и рассеивания в воде по сравнению с видеокамерами, а также является более энергоэффективными в сравнении с эхолотами. В результате серии экспериментов были получены данные на уникальной научной установке МТУСИ, позволившие утверждать, что лазерное зондирование гидросферы или лидарные измерения являются перспективным направлением в гидротехнологиях и гидроэкологическом мониторинге.

*Ключевые слова:* оптическая система, лидар, подводная навигация, лазерное зондирование гидросферы, полупрозрачные препятствия.

### Теория и метод исследования

Степень изученности подводного мира Земли крайне низка, как за рубежом, так и в России. Территорию России омывают три океана: Северный Ледовитый, Атлантический и Тихий, а также множество окраинных и внутренних морей, не считая тысяч рек и озёр. Поэтому необходимость в изучении подводной среды всегда стояла перед российскими учёными. Рост перспектив исследования подводной среды обусловлен в том числе развитием смежных областей науки, включая микроэлектронику, робототехнику и многие другие. Развитие таких направлений науки позволяет, как совершенствовать уже существующие инструменты для подобных исследований, так и создавать новые. Общие усилия различных областей науки позволяют изменить взгляд и облегчить подводные исследования, получить новые знания о среде. Одним из таких инструментов являются подводные беспилотные дроны и исследовательские платформы.

Для ориентирования и навигации под водой подобные устройства применяют видеокамеры и эхолоты, позволяющие получать «изображение» окружающего пространства и собирать научные данные. Тем не менее видеокамеры обладают небольшой дальностью обзора, вплоть до дистанции в один метр и менее в условиях высокой мутности. Таким образом скорость и качество навигации под водой существенно падает, что мешает проведению исследований. Эхолоты в свою очередь способны обеспечить детектирование объектов на дистанциях 100 и более метров, но стоит отметить крайне высокое энергопотребление эхолота в сотни ватт и более для больших дальностей. Зондирование подводной среды лидаром в свою очередь способно обеспечить большую дальность «обзора» по сравнению с видеокамерами при значительно меньшем энергопотреблении в единицы ватт и менее. Лазерное зондирование подвержено меньшему влиянию мутности воды и рассеиванию света в среде, что положительно сказывается на максимально возможной дальности обнаружения объектов.

Метод лазерного зондирования, также известного как метод оптического радара или лазерного радара (лидара), заключается в обнаружении и определении дальности с помощью лазера. Лазер излучает серию коротких импульсов на заданной длине волны, после чего отражённые от препятствий фотоны детектируются и подсчитываются. На основе временной задержки между излучением и детектированием фотонов становится возможно определить дальность препятствия, при этом количество отражённых фотонов будет зависеть от геометрических размеров этого препятствия и его отражающих свойств.

### **Постановка эксперимента**

Эксперимент по лидарному зондированию полупрозрачных препятствий проводился на уникальной научной установке (УНУ) МТУСИ «Аппаратно-программный комплекс оценки основных технических характеристик оборудования беспроводной подводной лазерной связи» (рис. 1), длина подводной трассы составила 9,68 м. Данная установка является модульной, что позволяет изменять длину трассы путём увеличения или же уменьшения количества секций, также варьируя длину каждой из секций.



Рис. 1. УНУ «Аппаратно-программный комплекс оценки основных технических характеристик оборудования беспроводной подводной лазерной связи»

Для имитации полупрозрачных препятствий на стыках секций в воду были погружены мелкочастистые сетки, закреплённые на пластиковой основе (рис. 2). Каждая из этих сеток не препятствует прохождению лазерного пучка, при этом отражает часть попадающих на неё фотонов.



Рис. 2. Сетка, погруженная в воду

Источником лазерного излучения являлся импульсный лазер на основе Nd:YAG лазера с диодной накачкой, длиной волны – 532 нм, длительность импульса – 10 нс, энергия импульса – 2 мкДж/импульс, частота повторения импульсов – 4 кГц (рис. 3). Приёмным устройством являлся кремниевый однофотонный диод (SPAD), работающий в режиме счёта фотонов.



Рис. 3. Задействованный в эксперименте лидар

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 4.

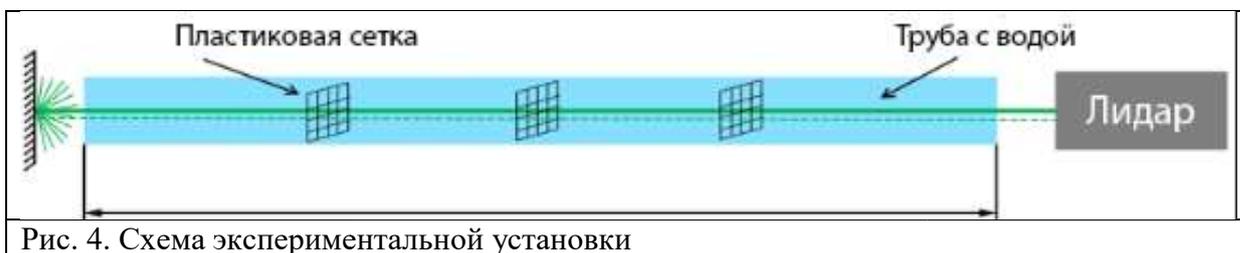


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

На рисунке 5 приведены результаты детектирования препятствий в гидросфере и атмосфере сквозь гидросферу. Данные результаты показали, что такой метод позволяет уверенно детектировать несколько полупрозрачных препятствий в гидросфере, а также определять сплошное препятствие за полупрозрачными препятствиями. Тем самым по полученной картине рассеяния можно однозначно определить наличие полупрозрачных препятствий в гидросфере и определить до них точное расстояние. Лазерное зондирование гидросферы позволяет работать через разделы двух сред, которые для остальных видов зондирования гидросферы являются не доступными.

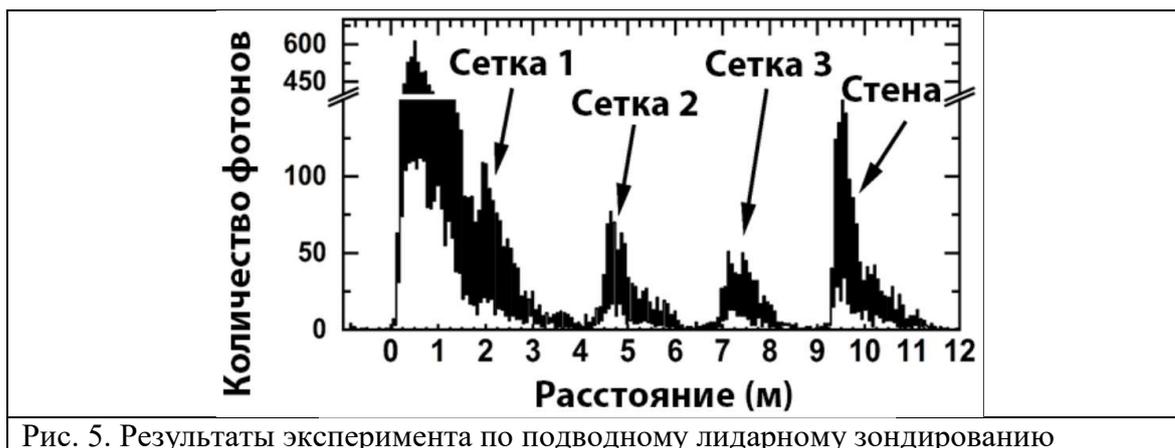


Рис. 5. Результаты эксперимента по подводному лидарному зондированию

## Заключение

Серия экспериментов на УНУ МТУСИ показала перспективность применения лидарного измерения в гидросфере. Полученные результаты показали возможность детектирования полупрозрачных и сплошных препятствий в гидросфере.

По итогам проведённого эксперимента, можно судить об эффективности и целесообразности применения лидарного зондирования для подводной навигации автономных роботов и платформ. Такой способ позволяет оценить дистанцию до объектов под водой с высокой точностью, а также оценить ряд других параметров, например, отражающие свойства препятствия или его размеры.

Для дальнейшего развития проекта по лидарному зондированию подводной среды планируется: модернизировать лидар для работы на длине волны 450 нм, (данная длина волны меньше всех прочих затухает при прохождении сквозь гидросферу); провести дополнительные эксперименты для разных дальностей гидросферной трассы; провести серию экспериментов с различными параметрами воды, таких как солёность и прозрачность, различными степенями турбулентности, а также провести эксперименты в море.

### **Конфликт интересов**

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

### **Список литературы**

1. Miroshnikova N. E., Petruchin G. S., Sherbakov A. V., Titovec P. A. A statistical model of the propagation of optical radiation in the hydrosphere // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings – IEEE, 2021. – С. 9166104.
2. Miroshnikova N. E., Petruchin G. S., Titovec P. A. Estimation of the effect of dispersion on the communication range in a wireless underwater optical channel // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings – IEEE, 2021. – С. 9488389.
3. Андреев С. А., Казанцев С. Ю., Свистунова А. И., Титовец П. А., Федюк М. О. Перспективы развития беспроводной оптической подводной связи: достижения МТУСИ // Наука, техника, педагогика высшей школы. Новые технологии = Science, Engineering, Higher Education Pedagogics. New Technologies (2022): материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский политехнический университет", 2022. – С. 281–288.
4. Бункин А. Ф., Клинков В. К., Леднев В. Н., Першин С. М., Юльметов Р. Н. Дистанционное зондирование полярных акваторий компактным лидаром: достижения и перспективы // Труды ИОФАН. 2013. Т. 69. С. 148–170.

### **Laser probing in water to 9 m distance through semi-transparent obstacles**

<sup>1</sup> Pershin S. M., <sup>1</sup> Grishin M. Ya., <sup>1</sup> Zavozin V. A., <sup>2</sup> Titovets P. A.,  
<sup>2</sup> Fedyuk M. O., <sup>2</sup> Smolsky A. A.

<sup>1</sup> *Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences  
 119991, Russia, Moscow, st. Vavilova 38*

<sup>2</sup> *Moscow technical university of communication and informatics  
 111024, Russia, Moscow, st. Aviamotornaya 8a, c. 39*

The use of lidar for sensing the space around the submersible robot through translucent obstacles makes it possible to more effectively solve the problem of underwater navigation. The method of laser probing consists in the emission of short laser pulses of high power and their subsequent detection by counting the photons reflected from objects along the beam propagation path. This probing method is less affected by turbidity and dispersion in water compared to video cameras, and is also more energy efficient than echo sounders. As a result of a series of experiments, data were obtained with unique MTUCI scientific facility, which made it possible to state that laser probing of the hydrosphere or lidar measurements are a promising direction in hydrotechnologies and hydroecological monitoring.

*Key words:* optical system, lidar, underwater navigation, laser probing of the hydrosphere, translucent obstacles.