

УДК 621.397.2

<https://www.doi.org/10.47813/dnit-II.2023.7.455-461>

EDN [SOMENT](#)



## К вопросам организации и оценки эффективности беспроводной лазерной системы связи с подводными робототехническими комплексами

Ю.Г. Ксенофонов\*

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала  
С.О. Макарова, ул. Двинская, 5/7, Санкт-Петербург, 198035, Российская Федерация

\*E-mail: ksenofontov.ura@mail.ru

**Аннотация.** В современном мире задачи повышения качества обработки результатов экологического мониторинга морского дна требуют тщательного пересмотра отдельных нетрадиционных инновационных решений. Сегодня исследования состояния подводной морской среды в Арктическом регионе России в режиме реального времени производятся при помощи автономных подводных робототехнических комплексов, оснащенных современными автоматизированными системами сбора и обработки информации со специальных бортовых телевизионных камер. Данные технологии позволяют выявлять неблагоприятные экологические факторы и наличие посторонних объектов с дальнейшей передачей информации в соответствующий координационный центр контроля экологической обстановки поверхности дна. При этом для более качественного и детального анализа необходимо обеспечивать видеотрансляцию с высокой разрешающей способностью. Взамен используемому на протяжении многих десятилетий гидроакустическим подводным системам стали широко применяться оптические системы передачи и приема информации с применением лазерного луча. Причиной такого перехода является крайне низкая скорость передачи видеопотока данных к надводным объектам, что послужило началом создания открытых высокоскоростных подводных систем связи, имеющих более широкую полосу пропускания. В статье рассматривается проблема оценки эффективности беспроводной подводной лазерной системы связи и ее организации, приводится функциональная структурная схема системы. Предлагается использовать обобщенный критерий эффективности системы, основанный на изменении интенсивности лазерного излучения, который не учитывает «человеческий фактор» и базируется исключительно на природной и технической составляющих.

**Ключевые слова:** интегрированная поисковая система, подводный робототехнический комплекс, водная среда, лазерный пучок, подводные лазерный информационный канал, телекоммуникационные системы.

## To the organization and evaluation of the effectiveness of a wireless laser communication system with underwater robotic complexes

Yu.G. Ksenofontov\*

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Dvinskaya 5/7, St.  
Petersburg, 198035, Russian Federation

\*E-mail: ksenofontov.ura@mail.ru

**Abstract.** In the modern world, the tasks of improving the quality of processing the results of environmental monitoring of the seabed require careful study of individual unconventional innovative solutions. Today, real-time studies of the state of the underwater marine environment in the Arctic region of Russia are carried out using autonomous underwater robotic systems equipped with modern automated systems for collecting and processing information from special on-board television cameras. These technologies make it possible to identify adverse environmental factors and the presence of foreign objects with the further transfer of information to the corresponding coordination center for monitoring the environmental situation of the bottom surface. At the same time, for better and more detailed analysis, it is necessary to provide video broadcasting with high resolution. Instead of hydroacoustic underwater systems that have been used for many decades, optical systems for transmitting and receiving information using a laser beam have become widely used. The reason for this transition is the extremely low transmission rate of the video data stream to surface objects, which was the beginning of the creation of open high-speed underwater communication systems with a wider bandwidth. The article discusses the problem of evaluating the effectiveness of a wireless underwater laser communication system and its organization, the functional structure of the system is given. It is proposed to use a generalized criterion for the efficiency of the system based on a change in the intensity of laser radiation, which does not take into account the "human factor" and is based solely on the natural and technical components.

**Keywords:** integrated search engine, underwater robotic complex, water medium, laser beam, underwater laser information channel, telecommunication systems.

## 1. Введение

Использование инновационных технологий в области подводных исследований открывает целый ряд направлений. Повышение поисковой производительности подводных аппаратов (ПА) является одной из ключевых задач по совершенствованию, так называемой, интегрированной поисковой системы (ИПС), в которой передача видеоданных должна осуществляться по лазерному информационному каналу, имеющему высокую пропускную способность [1].

Ранее лазерные системы в подводной технике не находили широкого применения. Разработок в данной области было относительно немного, к тому же наблюдалось полное отсутствие концептуальных основ интеграции радиоэлектронного оборудования поисковой подводной техники для комплексной работы на борту ПА. При этом техническая сложность состоит в том, что указанное оборудование базируется на разных физических принципах [2-4]. Следует также отметить, что основной проблемой взаимодействия остается организация информационного подводного канала для передачи данных на надводные объекты, в частности, речь идет именно о видеоданных. Так как получить качественное изображение обнаруженного объекта, находящегося на значительном расстоянии от ПА – это одна из проблем, то дополняет ее также передача, обработка и воспроизведение самой картинки с заданной разрешающей способностью [5, 6]. Помимо всего прочего, информационный канал позволит также значительно повысить точность нахождения объекта подводой, что может оказать значительную помощь гидролокатору бокового обзора (ГБО), установленному на траверсах ПА.

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

В совокупности, анализ всей приведенной выше информации позволяет выделить основные этапы действий [7], направленные на повышение эффективности функционирования систем подводного поиска, и, в частности, развития ИПС:

- проведение ряда научно-исследовательских испытаний для выявления необходимых показателей работы лазерного информационного канала, что крайне необходимо для анализа работы в реальных условиях ГБО;
- отработка обмена информационными данными между ГБО и беспроводным информационным каналом о координатах объекта для более точного оптического наведения на него лазерной системы;
- тщательное исследование возможностей подводного лазерного сканирования с целью точного определения координат поисковых объектов;

- анализ скорости распознавание целей, находящихся в поле технического зрения ГБО, без изменения курса ПА;
- апробация технических средств беспроводной подводной лазерной системы связи в реальных условиях.

### 3. Методы и материалы исследования

Непосредственно оценка эффективности подводных телекоммуникаций сводится к критерию ослабления интенсивности лазерного излучения, то есть, по сути, к зависимости его интенсивности  $I$  от расстояния распространения  $D$  [8, 9]. Условием того, чтобы достичь максимальной дальности распространения лазерного излучения, является соответствие спектров излучателя и приемника, которые по возможности должны находиться в области наименьших потерь света. Имеется также характеристика под названием «рассеяние», которая практически никак не зависит от длины волны излучателя  $\lambda$ , в то время как наименьшее световое ослабление характеризуется минимальным значением коэффициента поглощения  $\chi_{\min}$ . Значения указанного коэффициента  $\chi_{\min}$  в большинстве акваторий мирового океана находятся в пределах спектрального диапазона, при котором  $\lambda=470\div 570$  нм.

### 4. Полученные результаты

Процесс распространения лазерного пучка в водной среде детально показан на рис.

1.

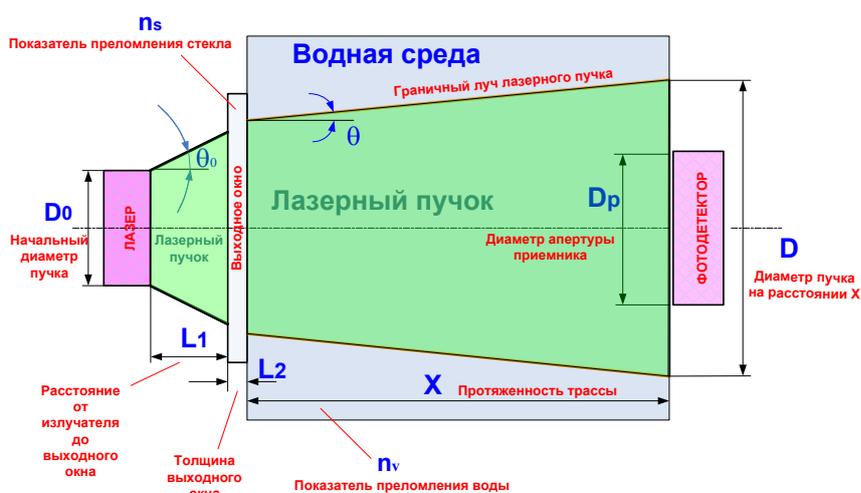
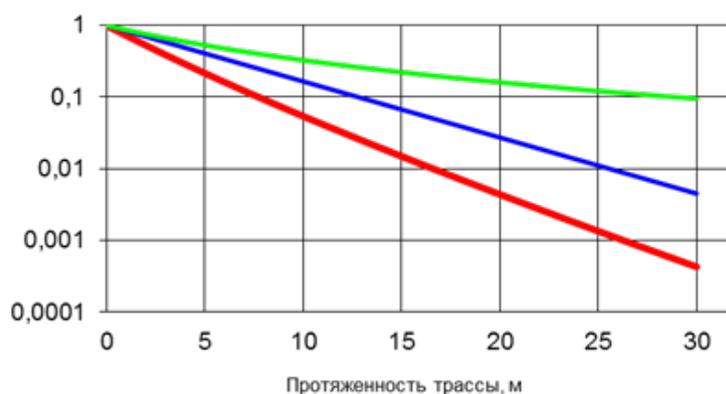


Рисунок 1. Структурная функциональная схема процесса использования лазерного пучка в водной среде.

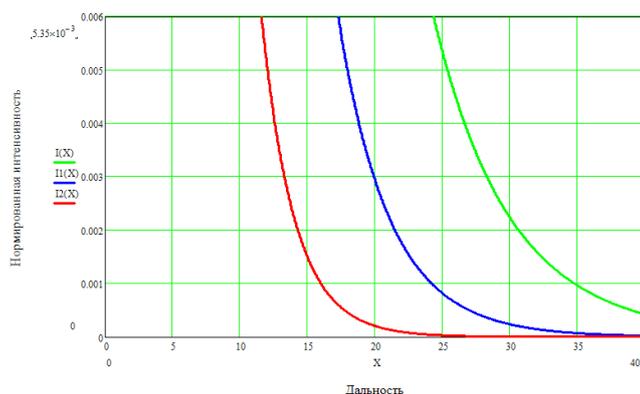
Из рисунка следует, что на интенсивность лазерного излучения главным образом оказывает влияние протяженность трассы  $X$ .

Многолетний опыт исследователей, участвующих в проведении испытаний подводных поисковых систем, позволяет говорить о такой прозрачности водоемов, дальность подводного видения в которых практически не превышает значения 15 м. Зависимости снижения интенсивности лазерного излучения наглядно иллюстрирует рис. 2.



**Рисунок 2.** Графики зависимости снижения интенсивности  $\frac{I}{I_0}$  лазерного излучения (нормированная величина) от протяженности трассы.

Графические зависимости коэффициента потерь (поглощения) от дальности распространения лазерного сигнала в водной среде показаны на рис. 3.



**Рисунок 3.** Графики зависимости интенсивности лазерного излучения (нормированная величина) в водной среде:  $I(X)$ ,  $I_1(X)$ ,  $I_2(X)$  – нормированные интенсивности лазерного луча при значении коэффициента поглощения  $\varepsilon = 0,125 \text{ м}^{-1}$ ,  $\varepsilon = 0,2 \text{ м}^{-1}$  и  $\varepsilon = 0,333 \text{ м}^{-1}$  соответственно.

Так как наблюдение за подводными объектами требует на входе фотоприемника определенного соотношения сигнал/шум (порядка 30), коэффициент снижения интенсивности лазерного излучения должен иметь определенное, так называемое, пороговое значение, которое имеет порядок  $10^{-11}$ .

## 5. Выводы

Полученные результаты, приведенные в статье, подтверждают целесообразность реализации ИПС на базе лазерных технологий. Представленные графики позволяют оценивать эффективность поисковых мероприятий при помощи подводных робототехнических комплексов в зависимости от дальности визуального наблюдения объектов поиска в водной среде. Результаты работы также показывают необходимость реализации подводного беспроводного информационного канала связи на основе лазерных телекоммуникационных систем с высокой пропускной способностью, возможности которой ни при каких обстоятельствах не смогут обеспечить самые современные гидроакустические системы. Уже сегодня по данным, приведенным в [10], дальность передачи видеофрагментов между подводными техническими средствами в условиях переменной прозрачности воды достигает  $60 \div 160$  м.

Таким образом, применение оптического способа вида передачи видеоинформации, при условии ее быстрой и качественной обработки, позволит разработать более точную карту придонного состояния определенной акватории [11], что, в дальнейшем, может стать достаточно эффективным технологическим инструментом выявления наличия посторонних источников загрязнения морской подводной среды.

## Список литературы

1. Мартынов, В.Л. Основные требования к телевизионным коммуникациям с лазерной подсветкой при создании интегрированных поисковых систем подводных аппаратов / В.Л. Мартынов, Ю.Г. Ксенофонтов, М.С. Шиманская, Э.В. Кречетова, М.Б. Бродов // Информатизация и связь. – 2021. – № 5. – С. 60-67. – DOI: 34219/2078-8320-2021-12-5-60-67
2. Датьев, И.О. Развитие инфотелекоммуникационных систем арктических территорий / И.О. Датьев // Труды Кольского научного центра РАН. – 2014. – № 5 (24). – С. 41-63.
3. Кожемякин, И.В. Перспективные платформы морской робототехнической системы и некоторые варианты их применения / И.В. Кожемякин, А.П. Блинков,

К.В. Рождественский, В.Д. Мелентьев, В.Ю. Занин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 1 (174) – С. 59-66.

4. Антропов, Д.А. Проблемы эксплуатации множества группировок радиоэлектронных средств различного назначения в ходе формирования современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры арктических регионов страны / Д.А. Антропов // Арктика: экология и экономика. – 2014. – № 2 (14). – С. 67-78.

5. Мирошников, В.И. Составной тракт доведения информации до робототехнических комплексов в северных морях / В.И. Мирошников, П.А. Бутко, Г.А. Жуков // Техника средств связи. – 2019. – № 3 (147). – С. 2-26.

6. Мартынов, В.Л. Бесконтактное информационное взаимодействие средств обеспечения подводного мониторинга с применением лазерных коммуникаций / А.С. Голосной, Ю.Г. Ксенофонтов, М.С. Шиманская, Э.В. Кречетова // Информатизация и связь. – 2021. – № 5. – С. 25-30. – DOI: 34219/2078-8320-2021-12-5-25-30.

7. Ляхов, Д.Г. Современные задачи подводной робототехники / Д.Г. Ляхов // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 1 (13). – С. 15-23.

8. Мартынов, В.Л. Совершенствование телекоммуникаций в гидросфере на базе волоконно-оптических технологий / В.Л. Мартынов, В.И. Дорошенко, Н.М. Божук, М.С. Шиманская, Э.В. Кречетова // Информатизация и связь. – 2022. – № 1. – С. 61-67. – DOI: 10.34219/2078-8320-2022-13-1-61-67

9. Ксенофонтов, Ю.Г. Системы технического зрения как разновидность инфотелекоммуникаций в вопросах экологического мониторинга водной среды / Ю.Г. Ксенофонтов, В.Л. Мартынов, Н.М. Божук, М.С. Шиманская, Э.В. Кречетова // Информатизация и связь. – 2022. – № 1. – С. 114-119. – DOI: 10.34219/2078-8320-2022-13-1-114-119

10. Мартынов, В.Л. Картографирование донной поверхности с использованием лазерных технологий / В.Л. Мартынов, Н.М. Божук, А.С. Голосной // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 2-2 (44). С. 69–73.

11. Ксенофонтов, Ю.Г. Инновационный подход к вопросам организации системы дальней связи и управления подводными робототехническими комплексами контроля экологического состояния акваторий Северного морского пути / Ю.Г. Ксенофонтов // Наука, технологии, общество: экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции с международным участием, Красноярск, 16–18 ноября 2022 года. – Красноярск:

Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2022. – С. 560-570. – DOI 10.47813/nto.3.2022.6.560-570. – EDN QWUVNH.