

Достижения и тенденции развития беспроводной подводной оптической связи

А.Р. Шафиева, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), аспирант; a.r.shafieva@mtuci.ru
П.А. Титовец, МТУСИ, старший научный сотрудник, к.т.н.; p.a.titovets@mtuci.ru
М.О. Федюк, МТУСИ, инженер; m.o.fedyuk@mtuci.ru
Н.С. Бекушев, МТУСИ, инженер; mnikolaysk@mail.ru

УДК 621.39

DOI: 10.34832/ELSV.2026.79.5.001

Аннотация. Проведён обзор современных исследований в области беспроводной подводной оптической связи, проводимых иностранными и отечественными научными коллективами. Описаны существующие проблемы линий беспроводной подводной связи в различных условиях эксплуатации. Описаны подходы, применимые для разработки линий беспроводной подводной связи при различных параметрах среды распространения. Представлены системы беспроводной подводной оптической связи, способные обеспечить передачу данных на скоростях до десятков Гбит/с на расстояние в несколько метров. Описаны конструктивные решения, связанные с выбором длин волн излучателей, количества излучателей и их типов, в зависимости от условий и задач систем беспроводной подводной оптической связи. Рассмотрены перспективные системы беспроводной подводной оптической связи для групп подводных и надводных автономных аппаратов.

Ключевые слова: подводная связь, беспроводная связь, высокоскоростная связь, сигнально-кодовые конструкции, подводная техника.

Для цитирования: Шафиева, А.Р. Достижения и тенденции развития беспроводной подводной оптической связи / А.Р. Шафиева, П.А. Титовец, М.О. Федюк, Н.С. Бекушев // Электросвязь. – 2026. – № 5. – С. 2-12.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводная подводная оптическая связь представляет собой перспективное направление в области телекоммуникаций, ориентированное на обеспечение высокоскоростного обмена данными в подводной среде. В отличие от традиционных акустических или радиочастотных методов связи, данная технология использует окно прозрачности воды в видимом диапазоне длин волн, где коэффициент затухания минимален. Благодаря этому достигаются существенно более высокие скорости передачи информации на расстояниях до сотен метров, что особенно важно для задач, требующих низкой задержки и высокой пропускной способности [1, 2].

Несмотря на очевидные преимущества, подводная оптическая связь сталкивается с рядом серьёзных физических ограничений. Основными факторами, влияющими на качество канала, являются поглощение и рассеяние света в воде, вызванные как природными, так и антропогенными причинами. Дополнительные сложности создают турбулентность и флуктуации среды, наличие пузырьков газов, взвешенных веществ, а также необходимость обеспечения точности наведения и удержания оптического луча. В совокупности эти эффекты существенно сокращают дальность устойчивой связи и

требуют применения сложных инженерных и алгоритмических решений.

Современные разработки в области подводной оптической беспроводной связи включают широкий спектр технологических подходов:

- использование лазерных и светодиодных (LED) источников излучения;
- внедрение высокоскоростных методов модуляции, таких как включение–выключение несущей, ортогональное частотное мультиплексирование (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) и их модификации;
- реализацию многоканального пространственного мультиплексирования (Multiple Input – Multiple Output, MIMO) для повышения пропускной способности;
- разработку гибридных систем, объединяющих акустические и оптические каналы передачи данных, что позволяет сочетать дальность акустики с высокой скоростью оптической линии;
- применение алгоритмов коррекции ошибок и адаптивной модуляции для повышения надёжности передачи данных [3].

В России и в мире ведутся как теоретические, так и прикладные исследования в области беспроводной подводной оптической связи. На сегодняшний