

УДК 551.46.0
EDN: ZJDXNQ

PACS: 07.07.Df

**Бортовая оптико-телевизионная система подводного видения
через границу раздела «воздух–морская вода»**© Ю. К. Грузевич^{1,2}, П. С. Альков^{1,2}, Л. М. Балясный¹, Д. В. Волков^{1,2*}, О. В. Чистов¹,
Т. Р. Хуснетдинов²¹ ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ», Москва, 107076 Россия

* E-mail: mitya_volkov_7554@bk.ru

² МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005 РоссияСтатья поступила в редакцию 29.01.2026; после доработки 22.05.2026; принята к публикации 5.06.2026
Шифр научной специальности: 2.2.6

Исследуется возможность создания бортовой вертолетной оптико-телевизионной системы подводного видения, предназначенной для обнаружения и распознавания подводных объектов через границу раздела «воздух–морская вода». Проанализированы физические механизмы ослабления оптического излучения в морской воде (поглощение и рассеяние), а также влияние фитопланктона, органических и неорганических примесей на прозрачность водной среды. Рассмотрены пассивные и активно-импульсные оптико-телевизионные системы подводного видения (АИ ОТС ПВ). Обоснованы преимущества активно-импульсного метода, позволяющего уменьшить влияние обратного рассеяния и повысить дальность и контрастность наблюдения. Описаны ключевые элементы системы: фотоприемный модуль на основе ЭОП III+ поколения с «голубым» фотокатодом и импульсный Nd:YAG лазер. Сделан вывод о перспективности таких систем для получения высококачественной визуальной информации о подводных объектах и расширения возможностей поисково-спасательных операций.

Ключевые слова: подводное видение, оптико-телевизионная система, активно-импульсный метод, лазерная подсветка, ЭОП III+ поколения.

DOI: 10.51368/1996-0948-2026-3-21-30

Введение

В последнее время все большее значение приобретает получение информации о подводных объектах не только с целью их обнаружения и определения местонахождения, но и для распознавания и идентификации, используя для этой цели изображения этих объектов. В частности, такие задачи возникают при использовании специальной аппаратуры, установленной на летательном аппарате, например, на вертолете, для поиска, обнаружения и опознавания затонувших объектов, а также для проведения поисково-спасательных

работ. При этом время поиска подводных объектов с высоты полета вертолета значительно сокращается за счет увеличения площади охватываемого района наблюдения.

Ослабление излучения

Проблема применения для этих целей радиолокаторов обусловлена тем, что электромагнитное излучение во всем диапазоне радиочастот, используемое для наземной радиосвязи, не способно распространяться в соленой морской воде, являющейся хорошим

проводником электрического тока. Глубину проникновения электромагнитного излучения в морскую воду можно рассчитать по формуле [1]:

$$h = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}, \quad (1)$$

где f – частота электромагнитного излучения, μ – магнитная постоянная морской воды ($\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м), σ – удельная электропроводность морской воды (от 1 до 4 Сименс/м).

Однако существует диапазон радиоволн, который способен распространяться в морской соленой воде – это сверхдлинные радиоволны в частотном диапазоне крайне низких частот (от 3 до 30 Герц) и сверхнизких частот (от 30 до 300 Герц), но для работы на сверхдлинных радиоволнах возникают большие технические трудности. Сложнее всего создать приемно-передающую антенную систему из-за очень большой длины волны, которая, например, при частоте 82 Гц составляет 3658 км. Построить эффективную антенную систему, размеры которой сопоставимы с такими геометрическими размерами волны, не представляется возможным.

Применению гидроакустической аппаратуры для поиска и распознавания подводных объектов присущи принципиальные недостатки, свойственные гидроакустической аппаратуре: зависимость от гидрологических условий, запаздывание информации, вызываемое малой скоростью распространения звука в воде, невысокие пространственное разрешение, помехоустойчивость и точность определения координат подводных объектов, а также сложность конструкции, повышенные массогабаритные характеристики и энергопотребление.

Потенциальные преимущества оптико-электронных систем для получения изображений подводных объектов через взволнованную границу раздела «воздух–морская вода» с борта вертолета для обнаружения и распознавания подводных объектов включают: высокие пространственное разрешение, чувствительность, отношение сигнал/шум, точность определения пространственных координат и дальности до обнаруженных подводных объектов.

В связи с этим возникает задача рассмотрения возможности использования опти-

ческого излучения для получения изображений подводных объектов через взволнованную границу раздела «воздух–морская вода» с борта вертолета (рис. 1).

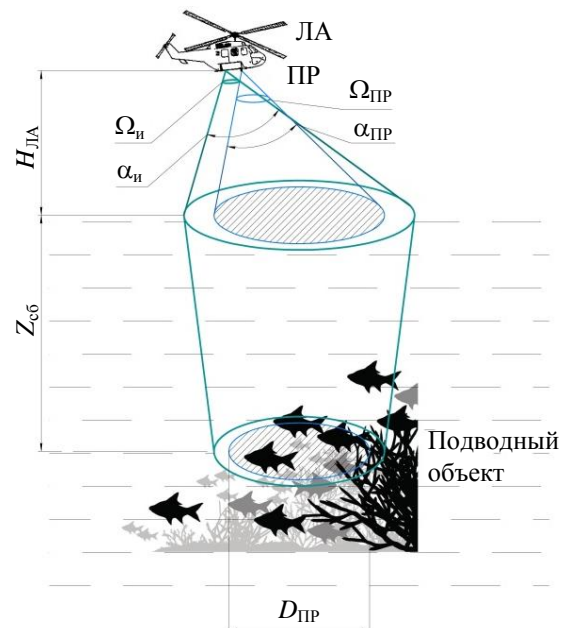


Рис. 1. Формирование изображений подводных объектов через границу раздела «воздух–морская вода» с борта вертолета

При этом процессы рассеяния и селективного поглощения оптического излучения в морской воде заметно влияют на качество изображения даже при сравнительно небольших расстояниях между подводными объектами и системой наблюдения, установленной на борту вертолета. Это влияние проявляется в ослаблении яркости и снижении контрастности изображения, искажении его пространственной структуры, утрате информации о цвете объекта, относительном увеличении шумовой составляющей изображения и, в конечном итоге, ограничении дальности видимости, определяемой, в основном, в результате воздействия следующих факторов. Первый связан с многократным рассеянием, которое приводит к размытию изображения подводного объекта, второй обусловлен флуктуациями в распределении подводной освещенности, вызванными случайным характером преломления оптического излучения на взволнованной поверхности.

Эти флуктуации приводят к появлению в сигнале флуктуационной составляющей, обусловленной волнением, и нарушению тополо-

гии изображения. Считая эти факторы взаимно не коррелированными, можно оценить их влияние на качество изображения раздельно. Кроме того, необходимо учитывать скорость движения вертолета и многочисленные взаимодействия с поверхностями, которые испытывает оптическое излучение при прохождении через воздух, взаимодействия с поверхностью воды, распространении в воде, а затем при повторном прохождении через те же самые поверхности. Эти взаимодействия становятся еще более сложными, когда рассеивающие и поглощающие вещества, присутствующие в воде, имеют более высокую концентрацию вблизи поверхности. Все эти сложности в совокупности значительно снижают общий возвращаемый сигнал и, таким образом, ограничивают использование оптико-электронной системы подводного видения на мелководных участках морской поверхности.

Учитывая особенность распространения оптического излучения в морской среде, в данной работе рассматривается возможность использования высокоразрешающих оптико-телевизионных систем для обеспечения наблюдения подводного пространства с борта вертолета за счет регистрации отраженного от подводных объектов подсвечивающего оптического излучения и формирования изображения подводных объектов на экране монитора, которые используются оператором на борту вертолета для распознавания подводных объектов при определенных условиях наблюдения.

На пути распространения подсвечивающего оптического излучения происходит несколько типов взаимодействий со средой (воздухом и морской водой), ослабляющих его мощность, включая рассеяние и поглощение, которое можно оценить, используя закон Бугера [1]:

$$\Phi(r) = \Phi_0 \exp \left\{ - \int_0^r [\alpha(r) + \beta(r)] dr \right\}, \quad (2)$$

где $\Phi(r)$ и Φ_0 – текущий и начальный поток оптического излучения, r – толщина среды (воздуха и морской воды), $\alpha(r)$ – коэффициент поглощения среды (воздуха и морской во-

ды), $\beta(r)$ – коэффициент обратного рассеяния среды (воздуха и морской воды).

Поглощение оптического излучения – это основной механизм ослабления, который необходимо учитывать при распространении оптического излучения в морской воде. Поглощение оптического излучения происходит, когда фотоны поглощаются молекулами воды, увеличивая электронные энергетические состояния молекул. За счет поглощения на ослабление лазерного излучения в морской воде влияет ряд факторов: сама чистая морская вода, фитопланктон, разложившийся растительный материал и другие неорганические частицы.

Для чистой воды поглощение оптического излучения достаточно низкое – до длины волны ~ 600 нм. При увеличении длины волны зондирующего оптического излучения более сильные колебательные энергетические переходы вызывают заметное и значительное увеличение интенсивности поглощения. Спектральная характеристика поглощения чистой воды приведена на рис. 2 [1].

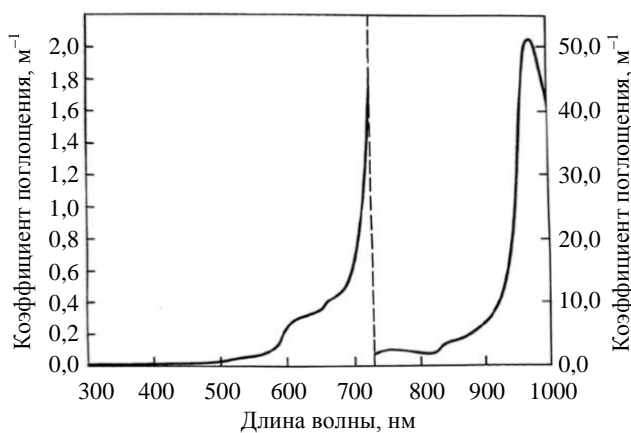


Рис. 2. Спектральная характеристика поглощения чистой воды

Введение соли в концентрациях, характерных только для морской воды, вызывает очень небольшое увеличение коэффициента поглощения (порядка $0,002 \text{ м}^{-1}$) в диапазоне длин волн от 400 нм до 680 нм [3]. Это пренебрежимо мало по сравнению с любым другим ослабляющим фактором в водной среде. Поэтому поглощение морской водой для любой заданной длины волны можно аппроксимировать поглощением чистой водой для той же заданной длины волны.

Фитопланктон и другие фотосинтезирующие материалы поглощают значительно сильнее оптическое излучение, чем чистая морская вода. Основным поглощающим компонентом фотосинтезирующих материалов является хлорофилл, который бывает двух типов: хлорофилл *a* и хлорофилл *b*. Независимо от типа хлорофилл имеет две основные полосы поглощения – одна в «красной» области видимого диапазона спектра, а другая – в «синей». Хотя это указывает на то, что хлорофилл будет легче поглощать оптическое излучение в этих частях спектра, любая длина волны оптического излучения имеет вероятность поглощения [1]. Уровень поглощения оптического излучения фитопланктоном и другими фотосинтезирующими материалами зависит от местоположения и концентрации хлорофилла в воде. В мелководных районах фитопланктон и фотосинтетические материалы могут занимать всю толщу воды от поверхности до морского дна. В более глубоких прибрежных водах или открытом океане концентрация фотосинтетических материалов зависит от интенсивности окружающего солнечного света.

Таким образом, вблизи поверхности океана наблюдаются более высокие концентрации материалов, содержащих хлорофилл, которые частично распространяются в толщу воды до тех пор, пока солнечное излучение полностью поглотится и при увеличении глубины уровень потерь оптического излучения будет определяться поглощением водной среды. Поэтому интенсивность поглощения оптического излучения материалами, содержащими хлорофилл, сильно варьируется в зависимости от местоположения применения системы наблюдения. Например, в открытом океане нет высокой концентрации этих материалов и интенсивность поглощения, обусловленная этими материалами, крайне низкая. Однако для прибрежных вод интенсивность поглощения от этих материалов может значительно повысить уровень потерь оптического излучения.

Кроме этого, на интенсивность поглощения оптического излучения в морской воде оказывают различные нефотосинтезирующие материалы – такие, как разложившиеся растительные материалы, известные как окрашенное растворенное органическое вещество, и

другие неорганические частицы поглощают оптическое излучение [1].

Спектральная зависимость интенсивности поглощения оптического излучения в открытом океане, обусловленная вышеупомянутыми факторами потерь в морской воде, приведена на рис. 3 [2].

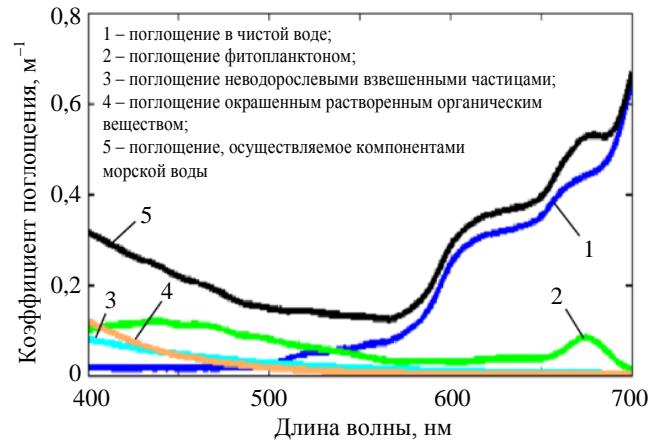


Рис. 3. Спектральная зависимость интенсивности поглощения оптического излучения в открытом океане

Рассеяние оптического излучения – это также основной механизм ослабления, который необходимо учитывать при распространении оптического излучения в морской воде, которое принимает две формы: упругое и неупругое. Упругое рассеяние не приводит к изменению длины волны и часто моделируется двумя различными способами: рассеянием Рэля и рассеянием Ми. Выбор модели зависит от размера рассеивающих частиц и длины волны оптического излучения. Учитывая, что поглощение оптического излучения минимально в спектральном диапазоне от 450 нм до 550 нм, а диаметр молекул воды порядка 0,3 нм, то рассеяние Рэля можно рассматривать только при взаимодействии с чистой морской водой.

Второе упругое взаимодействие оптического излучения с морской средой – это рассеяние Ми, которое возникает при взаимодействии с более крупными частицами. Теория рассеяния Ми рассматривает частицы любого размера, взвешенные в морской воде, как среду, через которую распространяется оптическое излучение, и достаточно точно описывает эмпирические данные об угловом распределении рассеянного оптического излучения в морской воде [1]. Угловое распределение

рассеянного оптического излучения в различных типах морской воды приведено на рис. 4, представленное в виде функции объемного рассеяния, которая описывает распределение рассеянной мощности оптического излучения от входного потока по отдельным углам рассеяния [2].

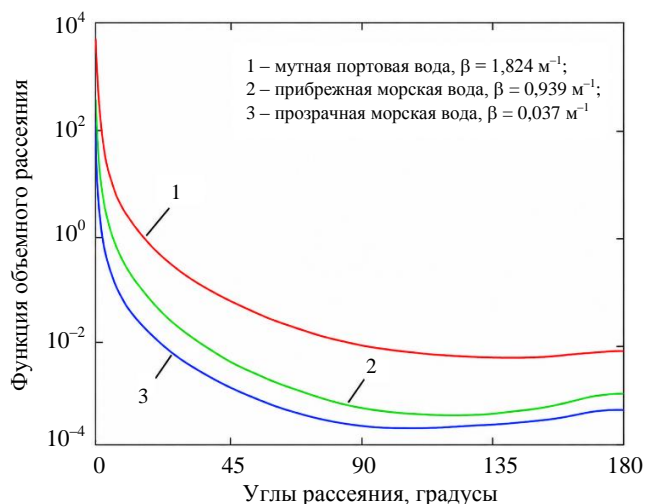


Рис. 4. Распределение рассеянной мощности оптического излучения от углов рассеяния

Графики, приведенные на рис. 4, полученные для лазерного излучения с длиной волны 515 нм, показывают, какой вклад вносит рассеяние Ми в общее ослабление оптического излучения при распространении через толщу различных типов морской воды: мутной портовой воды, прибрежной морской воды и прозрачной морской воды [4]. Значения рассеяния на графиках рис. 4 при углах 0° представляет собой оптическое излучение, которое было либо рассеяно вперед, либо не рассеяно совсем, а при углах 180° – показывает уровень оптического излучения, которое было рассеяно в обратном направлении распространения. Все остальные углы описывают распределение оптического излучения, которое было рассеяно в каком-либо другом направлении. Анализ графиков, приведенных на рис. 5, показывает, что большая часть падающего оптического излучения продолжает распространяться в прямом направлении (~ 0 градусов), и лишь незначительная часть распространяется в обратном направлении (вблизи углов рассеяния 180°). Данные графики используются для оценки доли рассеянного оптического излучения в прямом и обратном

распространении оптического излучения в различных типах морской воды.

Поскольку характеристики рассеяния и поглощения оптического излучения морской водой зависят от концентрации взвешенных в воде веществ, то океан по глубине обычно делят на три области: эвфотическую, дисфотическую и афотическую зоны. При разработке оптико-телевизионных систем подводного видения (ОТС ПВ) наибольший интерес представляет эвфотическая зона – это область, которая поглощает 99 % падающего солнечного излучения на поверхности океана. Как правило, максимальная глубина для этой зоны составляет около 200 м, но может колебаться в зависимости от доступности солнечного света. Эвфотическая зона – это область, в которой максимальная концентрация фитопланктона и других фотосинтезирующих веществ, поэтому в этой области будет максимальное ослабление оптического излучения и, следовательно, эта область наиболее важна при проектировании электронных систем подводного видения [1].

Концентрация фитопланктона и другого фотосинтезирующего материала значительно снижается от поверхности океана до дна эвфотической зоны, хотя в некоторых районах мира на больших глубинах существует вторичный максимум концентрации хлорофилла [2]. В прибрежных водах достаточно высокая концентрация растворенных органических вещества по всей толще морской воды, вызывая значительное ослабление оптического излучения. Все это влияет на воспринимаемую прозрачность морской воды и, следовательно, на способность оптического излучения распространяться через водную среду. Например, в открытом океане отсутствует большая часть посторонних примесей, характерных для прибрежных вод, поэтому потери оптического излучения при распространении в морской воде в открытом океане будут значительно меньше, чем в прибрежных водах. Была проведена классификация водной среды, учитывающая определённые концентрации хлорофилла и фитопланктона в морской воде, что позволяет лучше прогнозировать, как зондирующее оптическое излучение будет поглощаться и рассеиваться в морской воде [5]. В соответствии с проведенной классификаци-

ей морская вода от открытого океана до прибрежной области была разбита на группы на основе пропускания оптического излучения. Чем сильнее ослаблялось оптическое излучение, тем выше присваивался ему номер. Спектральные характеристики пропускания морской воды на основе введенной классификации приведены на рис. 5.

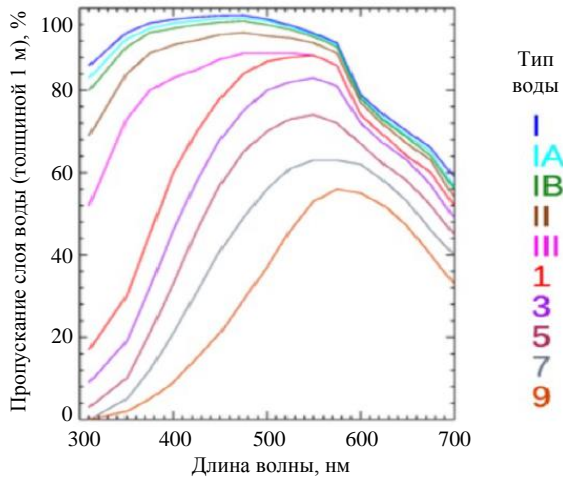


Рис. 5. Пропускание излучения морской воды на основе введенной классификации

Обобщенная спектральная характеристика ослабления оптического излучения морской водой, обусловленного поглощением и объемным рассеянием, приведена на рис. 6. Анализ полученной характеристики показывает, что бортовые ОТС ПВ должны иметь максимальную фоточувствительность в спектральном диапазоне максимальной прозрачности морской воды (от 450 нм до 550 нм),

которые можно подразделить на две большие группы: пассивные и активно-импульсные оптико-телевизионные системы подводного видения.

В пассивных ОТС ПВ изображение формируется при естественном (солнечном) освещении, хотя, как правило, на большой глубине отсутствует подсвечивающее солнечное излучение или при использовании мощных прожекторных осветителей для постоянной подсветки подводных целей.

Известно, что в морской воде световой поток ослабляется значительно сильнее, чем в атмосфере. Можно компенсировать ослабление подсвечивающего оптического излучения повышением мощности потока оптического излучения. Однако это приводит к увеличению яркости помехи обратного рассеяния (далее по тексту – ПОР), снижающей контрастность изображения. Опыт эксплуатации подводных пассивных оптико-телевизионных систем подводного видения показывает, что для увеличения предельной дальности на 15–20 % необходимо увеличить мощность источника света прожектора в 10 раз [6]. Анализ результатов работы отечественных подводных пассивных ОТС ПВ, выполненный специалистами ФГУП СПМБМ «Малахит», позволяет сделать вывод о том, что возможности прожекторных осветителей для увеличения дальности подводного видения практически исчерпаны. При этом их самым большим достоинством является их относительная дешевизна [6].

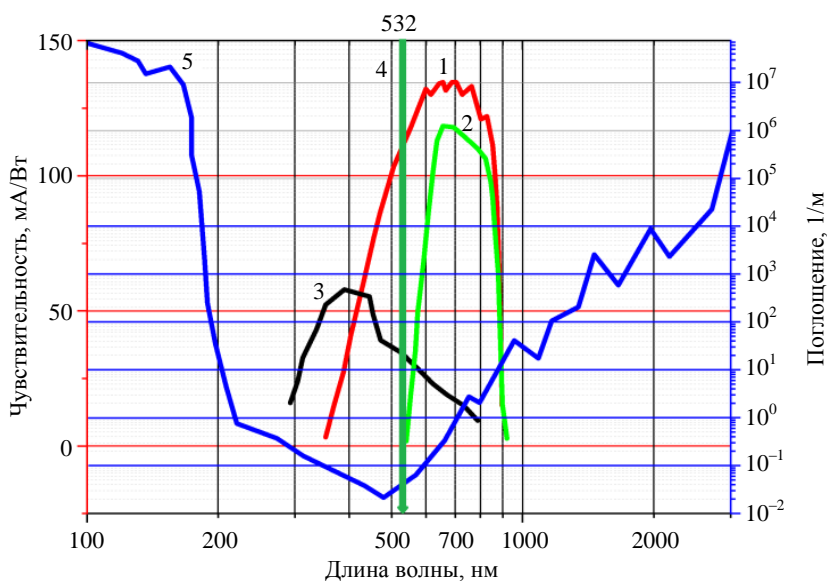


Рис. 6. Спектральные характеристики прозрачности морской воды и ЭОП III+ поколения и излучения Nd:YAG-лазера: 1 – спектральная фоточувствительность ЭОП III+ поколения с «голубым» фотокатодом; 2 – спектральная фоточувствительность стандартного ЭОП III+ поколения GaAs фотокатодом; 3 – спектральная фоточувствительность ЭОП II+ поколения; 4 – излучение Nd:YAG-лазера; 5 – спектральная характеристика поглощения морской воды

Применение активно-импульсного метода формирования подводных видеоизображений позволяет устранить «паразитное» влияние ПОР, обусловленное оптическими помехами – такими, как рассеивающая морская вода и фитопланктон, которые накладываются на полезное изображение наблюдаемых подводных объектов, снижая их контраст. Профиль эхо-сигнала АИ ОТС ПВ, расположенной над поверхностью моря на борту вертолета, приведен на рис. 7.

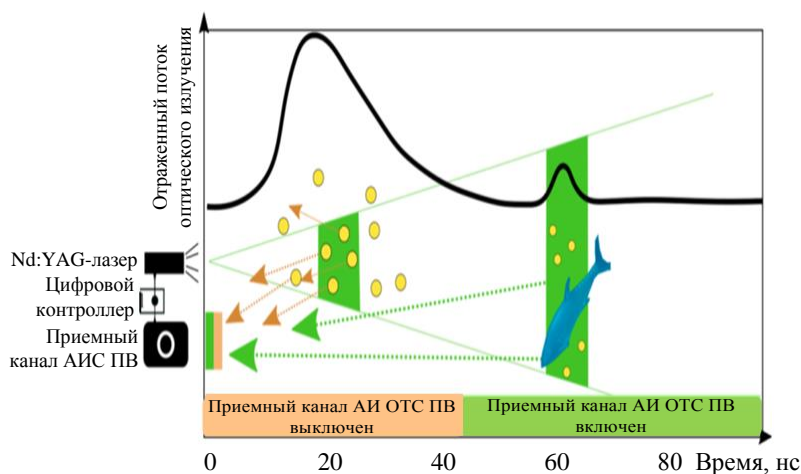


Рис. 7. Профиль эхо-сигнала АИ ОТС ПВ: 1 – ПОР морской среды, 2 – отраженный сигнал от подводного объекта

Важнейшими ключевыми элементами, используемыми для создания высокоэффективных лазерных АИ ОТС ПВ, являются быстродействующий фотоприемный оптико-телевизионный канал, высокоэффективный импульсный лазер и быстродействующий цифровой контроллер.

Быстродействующий фотоприемный оптико-телевизионный канал создан на основе фотоприемного модуля типа «ФПМ-5-1» с чувствительной структурой «ЭОП III+ поколения – программируемая стробируемая цифровая ТВ камера на основе крупноформатной цифровой КМОП-матрицы». В структуре модуля используется специально разработанный фотоприемный оптико-телевизионный канал с отрицательным электронным средством со спектральной характеристикой, продленной в сине-зеленую область спектра прозрачности морской воды (рис. 6), который получил название ЭОП III+ поколения с «голубым» фотокатодом [7]. Разработанный ЭОП III+ поколения обладают рядом преимуществ по сравнению со стандартным ЭОП III+ поколения, имеющим очень низкую фоточувствительность в спектральном диапазоне прозрач-

Активно-импульсные оптико-телевизионные системы подводного видения используют для работы искусственную подсветку в спектральном диапазоне максимальной прозрачности морской воды ($\Delta\lambda = 450\div550$ нм), создаваемую высокоэффективными импульсными лазерными источниками, синхронно работающими с фотоприемным оптико-телевизионным каналом, чувствительным в спектральном диапазоне ($\Delta\lambda = 450\div550$ нм), также работающим в импульсном режиме.

ности морской воды (рис. 6), а ЭОП II+, SuperII+, HyperII+ – поколений имеют значительно низкую фоточувствительность в спектральном диапазоне прозрачности морской воды (рис. 6), а также очень низкое удельное сопротивление фотокатодов, что не позволяет осуществлять их стробирование короткими импульсами (до единиц наносекунд).

Внешний вид разработанного ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ» фотоприемного оптико-телевизионного канала АИ ОТС ПВ на основе модуля типа «ФПМ-5-1» приведен на рис. 8, а его основные параметры – в таблице 1.



Рис. 8. Внешний вид фотоприемного оптико-телевизионного канала АИ ОТС ПВ на основе модуля типа «ФПМ-5-1»

Таблица 1

Наименование параметров	Значения параметров
Угловое поле, град	20
Пространственное разрешение по полю, твл	450
Диаметр фотокатода ЭОП III+ поколения с «голубым» фотокатодом	18 мм
Спектральный диапазон фоточувствительности, мкм	0,4÷0,8
Интегральная фоточувствительность, мкА/лм	2800
Спектральная фоточувствительность на $\lambda = 530$ нм, мА/Вт	140
Тип цифровой ТВ камеры на основе КМОП матрицы	e2v EV76C560 АВТ
Формат ТВ камеры	1/1,8"
Разрешение ТВ камеры, пиксели	1282×1026
Размер пикселя ТВ камеры, мкм	5,3×5,3
Частота кадров, Гц	60
Потребляемая мощность, Вт	20
Масса, кг	1
Габариты, мм	110×80×215

Другим ключевым элементом АИ ОТС ПВ является высокоэффективный импульсный лазер, рабочим телом которого является кристалл Nd:YAG. Накачка рабочего тела лазера осуществляется диодными линейками, модуляция добротности производится электрооптическим затвором, а удвоение частоты генерации (на длине волны 527 нм) осуществляется элементом на основе кристалла КТР, что обеспечивает излучение в спектральной области прозрачности морской воды (рис. 6). Внешний вид разработанного Институтом физики БАН (Республика Беларусь) импульсного Nd:YAG лазера типа «Н-Р50-532» из состава АИ ОТС ПВ приведен на рис. 9, а его основные параметры – в таблице 2.

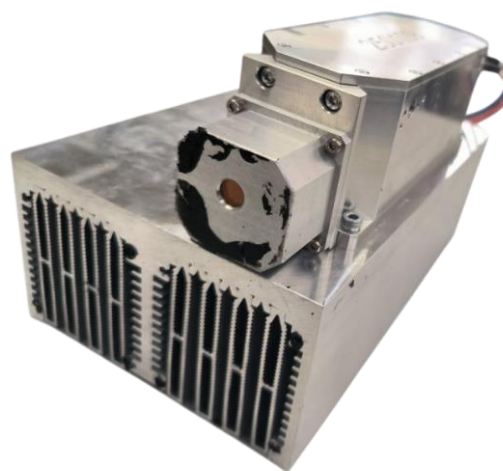


Рис. 9. Внешний вид импульсного Nd:YAG лазера типа «Н-Р50-532»

Таблица 2

Наименование параметров	Значения параметров
Длина волны излучения, нм	532 ± 5
Энергия в импульсе, мДж	> 50
Фиксированная частота следования импульсов, Гц	20
Длительность импульса, нс	< 10
Диаметр пучка, мм	< 5
Расходимость пучка, мрад	< 3
Длина волны излучения, нм	532 ± 5
Потребляемая мощность, Вт	300
Масса, кг	2
Габариты (без системы охлаждения), мм	50×60×165

Для управления импульсным питанием ЭОП III+ поколения с «голубым» фотокатодом, цифровой КМОП-матрицей и импульсным Nd:YAG-лазером, а также для первичной обработки цифровых изображений обнаруженных подводных объектов используется быстродействующий цифровой контроллер. Регулируемый временной строб управления включает приемный канал АИ ОТС ПВ на определенной дальности, устраняет ПОР и обеспечивает наблюдение по глубине подводного пространства в отсутствии солнечного излучения.

Заключение

Реализация технологии активно-импульсного режима привела к созданию оптико-телевизионных систем для обеспечения наблюдения подводного пространства с борта вертолета за счет регистрации отраженного от подводных объектов подсвечивающего оптического излучения и формирования изображения объектов на экране монитора, которые используются оператором на борту вертолета для распознавания подводных объектов при определенных условиях наблюдения.

Практическое значение активно-импульсного режима заключается в достижении высокой дальности подводного видения по сравнению с другими пассивными оптическими и оптико-электронными приборами, а также высокочастотными гидролокаторами секторного обзора, работающими в идентичных условиях. Переход на качественно новый уровень получения визуальной видеoinформации позволит расширить ограниченные естественным образом возможности человеческого глаза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Kirk J. T. O. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1983.
2. Mobley C. Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters. – Academic Press, 1994.
3. Sullivan J. M., Twardowski J. R., Moore C., Barnard A., Donaghay P. L., Rhoades B. / App. Opt. 2006. Vol. 45. № 21. P. 5294–5309.
4. Petzold T. J. Volume scattering functions for selected ocean waters. – San Diego: University of California, 1972.
5. Morel A. / J. Geophys. Res. Sep. 1988. Vol. 93. № C9. P. 10749–10768.
6. Мартынов В. Л., Краснополский В. Е., Мальцев А. Б. / Судостроение. 2005. № 4. С. 45–49.
7. Грузевич Ю. К. и др. / Прикладная физика. 2025. № 1. С. 70–78.

PACS: 07.07.Df

On-board optical television system for underwater vision across the air-sea interface

Yu. K. Gruzevich^{1,2}, P. S. Alkov^{1,2}, L. M. Balyasny¹, D. V. Volkov^{1,2*}, O. V. Chistov¹, and T. R. Khusnetdinov²

¹ Joint Stock Company «RPC GEOFIZIKA-NV», Moscow, 107076 Russia

* E-mail: mitya_volkov_7554@bk.ru

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005 Russia

Received 29.01.2026; revised 22.05.2026; accepted 5.06.2026

This article examines the feasibility of developing an airborne optical television underwater vision system for detecting and recognizing underwater objects across the air-sea interface from a helicopter. The article analyzes the physical mechanisms of optical radiation attenuation in seawater, including absorption and scattering, as well as the influence of phytoplankton, organic, and inorganic impurities on the transparency of the aquatic environment. Passive and active-pulse optical television underwater vision systems are considered, substantiating the advantages of the active-pulse method, which reduces the influence of backscatter and increases the range and contrast of observation. The key elements of the system are described:

a photodetector module based on a III+ generation image intensifier with a "blue" photocathode and a pulsed Nd:YAG laser. It is concluded that active-pulse optical television systems offer potential for obtaining high-quality visual information about underwater objects and expanding the capabilities of search and rescue operations.

Keywords: underwater vision, optical television system, active-pulse method, laser illumination, III+ generation image intensifier tube.

REFERENCES

1. Kirk J. T. O. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1983.
2. Mobley C. Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters. Academic Press, 1994.
3. Sullivan J. M., Twardowski J. R., Moore C., Barnard A., Donaghay P. L., and Rhoades B., App. Opt. **45** (21), 5294–5309 (2006).
4. Petzold T. J. Volume scattering functions for selected ocean waters. San Diego: University of California, 1972.
5. Morel A., J. Geophys. Res. **93** (C9), 10749–10768 (Sep. 1988).
1. Martynov V. L., Krasnopolskiy V. Ye., and Maltsev A. B., Sudostroenie, № 4, 46–48 (2005).
6. Gruzevich Yu. K., Alkov P. S., Balyasny L. M., and Volkov D. V., Applied Physics, № 1, 70–78 (2025) [in Russian].

Об авторах

Грузевич Юрий Кириллович, заместитель генерального директора по научной работе, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ» (107076, Россия, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2); профессор, МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1). E-mail: yu.kg@mail.ru AuthorID: 526171

Альков Павел Сергеевич, генеральный директор, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ» (107076, Россия, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2); к.т.н., доцент, МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1). E-mail: pavel_alkov@mail.ru

Балясный Лев Михайлович, главный конструктор ЭОП и ФПМ, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ» (107076, Россия, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2) E-mail: baliaska@mail.ru

Волков Дмитрий Владимирович, ведущий инженер, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ» (107076, Россия, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2); МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1). E-mail: mitya_volkov_7554@bk.ru

Чистов Олег Валерьевич, заместитель технического директора, ОАО «НПО ГЕОФИЗИКА-НВ» (107076, Россия, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2). E-mail: arkhont@mail.ru

Хуснетдинов Тимур Рустямович, старший преподаватель, МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1). SPIN-код: 4759-4489, AuthorID: 690829