

О ВЫБОРЕ ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ БУКСИРУЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ВИДЕОМОДУЛЬ»

И.М. Анисимов

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: anisimov.im@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 14.08.2018, одобрена к печати 30.11.2018

Для получения качественных фото- и видеоизображений с помощью систем подводного видения особенно важным является правильный выбор источников искусственного освещения. В работе предложен расчет, позволяющий оценить параметры источников освещения для решения задачи подводных наблюдений в режиме реального времени с помощью буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль». Приведены параметры источников подводного освещения, удовлетворяющие требованиям к эксплуатации аппарата. Представлены изображения, полученные во время работы подводного аппарата в рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш», и проанализировано их качество.

Ключевые слова: подводные аппараты, системы подводного видения, чувствительность сенсора видеокамеры, источники искусственного заливающего света, ослабление света в среде

Введение

С помощью систем подводного видения решаются важные задачи исследований Мирового океана, такие как мониторинг и учет биологических подводных сообществ, оценка морфологии микрорельефа поверхности дна, поиск, идентификация и последующий детальный осмотр подводных техногенных и природных объектов. Системы подводного видения устанавливаются на большинство подводных аппаратов: автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА), буксируемые необитаемые подводные аппараты (БНПА), а также в качестве вспомогательных систем на пробоотборники и зонды. В зависимости от применения используются системы, осуществляющие фото- или видеосъемку.

В ИО РАН был разработан БНПА «Видеомодуль» (рис. 1), предназначенный для осуществления маршрутных наблюдений за подводными объектами в режиме реального времени с возможностью записи фото- и видеоизображений. Аппарат эксплуатируется в Арктических экспедициях ИО РАН для поиска и обследования потенциально опасных объектов, а также для наблюдений донных животных и растений (Флинт и др., 2016; Поярков и др., 2017). БНПА представляет собой

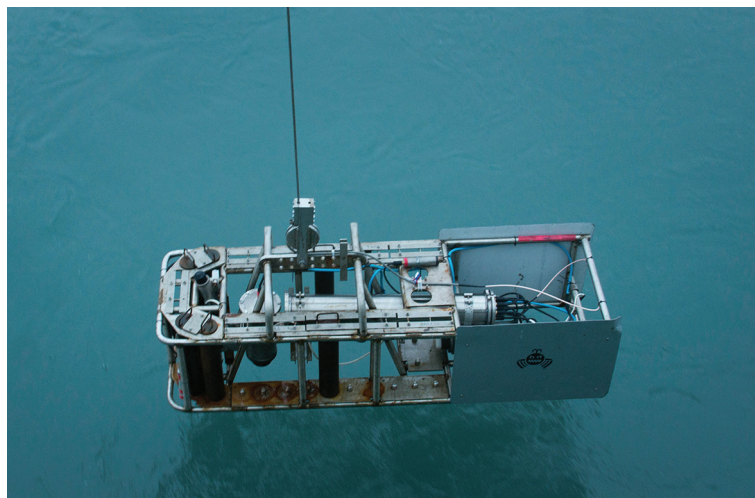


Рис. 1. БНПА «Видеомодуль».

пространственную раму из нержавеющей стали, на которой закреплены герметичные прочные корпуса с элементами питания, управляющими электронными блоками, видеокамерами и источниками искусственного заливающего света (ИЗС) (Пронин, 2017). Аппарат оснащен лазерными масштабными указателями для определения размера исследуемых объектов. Данные, собираемые БНПА, передаются на судно-носитель по оптоволоконным жилам кабель-троса с внешней грузонесущей оплеткой. Для захвата изображения на аппарате установлена цифровая камера высокого разрешения, позволяющая в режиме реального времени получать видеоизображение в формате Full HD с частотой 50 кадров в секунду.

Важным фактором для получения хорошо читаемого подводного изображения является правильный выбор конструкции и параметров ИЗС. БНПА «Видеомодуль» предназначен для работ на больших глубинах, куда не проникает естественный солнечный свет, поэтому ИЗС являются единственным источником освещения, обеспечивающим видимость в этих условиях. Исторически в качестве ИЗС применялись лампы накаливания, галогенные лампы, натриевые, ртутные, йодно-таллиевые и др. (Стопцов, Груздев, 1985). Источники различались по своим электрическим характеристикам, времени включения и цветопередаче. С точки зрения спектра излучения наиболее адекватными задачам подводного наблюдения являлись йодно-таллиевые лампы, спектральная характеристика которых наилучшим образом соотносится со спектральными характеристиками морской воды. Недостатком йодно-таллиевых ламп является небольшой срок службы и дороговизна в изготовлении. Наибольшее распространение в подводных световых приборах получили кварцевые галогенные лампы, преимуществом которых является универсальность по питанию, быстрота включения в режим работы, доступность и хорошая цветопередача. Из недостатков можно отметить невысокую светоотдачу (порядка 15 лм/Вт).

С развитием полупроводниковых технологий начали широко применяться ИЗС на основе светоизлучающих диодов. Большинство современных подводных

аппаратов оснащены источниками освещения этого типа (Sheehan et al., 2016). Они обладают высокой светоотдачей (до 200 лм/Вт), а также конструктивно имеют более компактные размеры по сравнению с другими типами излучающих элементов, что существенно упрощает задачу проектирования герметичных корпусов для ИЗС. Помимо диодов применяют газоразрядные лампы (ксенон), которые также обладают высокой светоотдачей (порядка 100 лм/Вт), однако они значительно уступают светодиодам по долговечности.

Основываясь на изученном опыте в сфере проектирования подводных аппаратов, в качестве излучающих элементов ИЗС для БНПА «Видеомодуль» было принято решение использовать светоизлучающие диоды. В статье сделана оценка фотометрических и электрических характеристик ИЗС, обеспечивающих работу БНПА «Видеомодуль».

Материалы и методы

Основным параметром, на который следует опираться при выборе источников подводного освещения, является минимальная освещенность на сенсоре видеокамеры (чувствительность сенсора) E_{\min} , при которой может сформироваться видимое изображение. Это значение связано с яркостью B_{CAM} области, видимой в кадре видеокамеры, соотношением $E_{\min} = Q_0 \cdot B_{CAM}$ где Q_0 – светосила объектива камеры. Яркость области, видимой в кадре, зависит от мощности источников освещения, коэффициента отражения исследуемого объекта R_{OBJ} , а также характеристик окружающей среды. В случае водной среды за наиболее значимую характеристику следует принять показатель ослабления излучения ϵ , который варьируется в зависимости от района Мирового океана (Стопцов, Груздев, 1985).

БНПА «Видеомодуль» оснащен камерой высокого разрешения Wevward BD3270Z с КМОП-сенсором с разрешением 2 мегапикселя и объективом с максимальным относительным отверстием равным 1/1,2. Согласно техническому паспорту устройства, сенсор камеры имеет чувствительность 0,0006 лк. Данное значение, как будет показано ниже, нуждается в дополнительной корректировке. Объектив камеры имеет угол обзора α_{CAM} равный 46° (значение скорректировано с учетом показателя преломления морской воды).

В качестве излучающих элементов для подводных источников освещения были выбраны матричные светодиоды. Матричный светодиод представляет собой набор кристаллов, размещенных на общей подложке, залитый слоем люминофора. Основными характеристиками матричных диодов, которые были использованы при расчетах, являются номинальный световой поток источника Φ_s , угол излучения α_s и электрическая мощность источника P_s . Поток излучения в пределах телесного угла Ω_s ограниченного углом α_s , вообще говоря, распространяется неравномерно, но, поскольку угол излучения большинства матричных светодиодов много больше заданного угла обзора камеры, то в пределах области видимости камеры неравномерностью светового потока (для упрощения расчета) можно пренебречь.

В дальнейшем угол излучения может быть скорректирован путем установки отражателей на прочные корпуса ИЗС, что повысит уровень освещенности области, видимой в кадре.

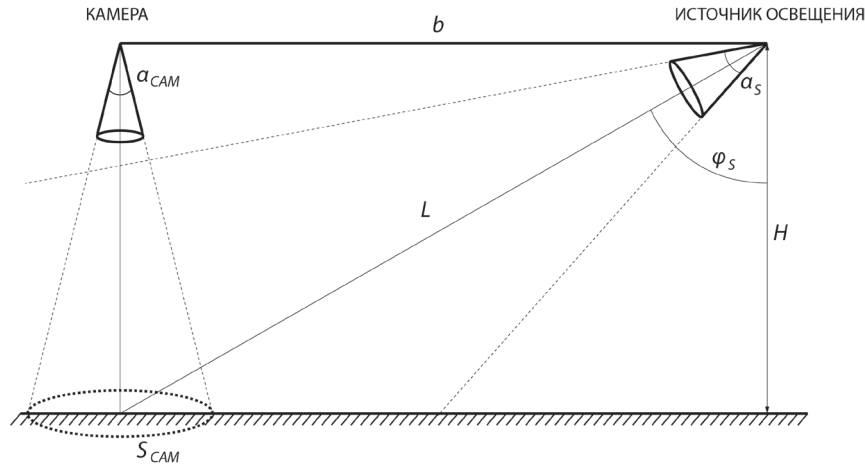


Рис. 2. Схема расположения элементов системы подводного видения БНПА «Видеомодуль»: b – расстояние от камеры до источника освещения; H – высота аппарата над объектом/дном; L – расстояние от источника до точки пересечения его оптической оси с оптической осью камеры; S_{CAM} – площадь области объекта/дна, видимой в кадре; α_{CAM} – угол обзора камеры; α_S – угол излучения источника; φ_S – угол наклона источника относительно вертикали.

Геометрическая схема расположения элементов на подводном аппарате показана на рис. 2. Источник освещения расположен под углом φ_S относительно вертикали так, чтобы центр освещенного участка исследуемого объекта совпадал с центром области площадью S_{CAM} видимой в кадре. То есть оптические оси источника и камеры должны пересекаться в точке, лежащей на поверхности исследуемого объекта. В реальности эти два центра смещаются относительно друг друга, т.к. аппарат отклоняется от оптимальной высоты над дном при буксировке. Но при расчете будем считать их совпадающими. Источник освещения расположен на расстоянии b от камеры высокого разрешения с целью уменьшения влияния помехи обратного рассеяния на полученное изображение (Долин, Левин, 1991).

Для расчета яркости области, ограниченной площадью S_{CAM} , найдем сначала световой поток Φ_{CAM} падающий от источника в пределах телесного угла Ω_{CAM} на область, ограниченную площадью S_{CAM} .

Из геометрического расположения источника относительно дна находим телесный угол Ω_{CAM} :

$$\Omega_{CAM} = \frac{S_{CAM}}{L^2} \cos \varphi_S,$$

где L^2 и $\cos \varphi_S$ рассчитываются исходя из геометрического расположения элементов аппарата: $L^2 = H^2 + b^2$, $\cos \varphi_S = H/L$.

Полный телесный угол источника Ω_S рассчитываем через номинальный угол излучения:

$$\Omega_S = 2\pi(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2}).$$

Приняв во внимание, что сила света источника в пределах его полного телесного угла остается постоянной, находим световой поток, ограниченный телесным углом Ω_{CAM} :

$$\Phi_{\Omega_{CAM}} = \frac{\Phi_S}{2\pi(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2})} \cdot \frac{S_{CAM}}{L^2} \cos \varphi_S.$$

В водной среде световой поток ослабляется согласно закону Бугера $\Phi' = \Phi_0 e^{-\varepsilon z}$, где z – расстояние. Принимая это во внимание и учитывая, что световой поток источника освещения ослабевает на расстоянии от источника до объекта L , получаем выражение для светового потока, падающего на объект:

$$\Phi_{CAM} = \frac{\Phi_S e^{-\varepsilon L}}{2\pi(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2})} \cdot \frac{S_{CAM}}{L^2} \cos \varphi_S.$$

Для упрощения расчетов будем полагать, что, падая на объект/дно, поток Φ_{CAM} отражается равномерно по всей площади S_{CAM} как от диффузно отражающей поверхности с коэффициентом отражения R_{OBJ} в пределах телесного угла 2π (верхняя полусфера). Используя классические формулы $B = I/S$, $I = \Phi/\Omega$ и учитывая ослабление светового потока на расстоянии от объекта до камеры, находим яркость области, видимой в кадре:

$$B_{CAM} = \frac{\Phi_S e^{-\varepsilon(L+H)}}{4\pi^2(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2})} \cdot \frac{1}{L^2} \cos \varphi_S.$$

Как упоминалось выше, минимальная освещенность на сенсоре видеокамеры (чувствительность сенсора) $E_{\min} = Q_0 \cdot B_{CAM}$. В свою очередь, светосила связана с относительным отверстием объектива N_0 соотношением $Q_0 = N_0^2$. Тогда находим условие для минимального светового потока источника освещения:

$$\Phi_S \geq 4(\pi L)^2 \frac{1}{N_0^2 \cdot R_{OBJ}} \cdot \frac{E_{\min}}{\cos \varphi_S} (1 - \cos \frac{\alpha_S}{2}) e^{\varepsilon(L+H)}.$$

Коэффициент отражения варьируется в зависимости от наблюдаемого объекта. Поскольку фоном для объектов является в подавляющем большинстве случаев морское дно, целесообразно присвоить R_{OBJ} значение среднего коэффициента отражения морского илистого дна как наиболее темного фона, возможного при подводных наблюдениях. Значение коэффициента отражения морского дна колеблется в районе 0,2 (Долин, Левин, 1991). Значение показателя ослабления изменяется в зависимости от района Мирового океана (Стопцов, Груздев, 1985). Для оценки характеристик источников подводного освещения было использовано

значение показателя ослабления, равное $0,5 \text{ м}^{-1}$ (Буренков и др., 2010), характерное для районов исследований, где эксплуатируется БНПА «Видеомодуль», а именно Арктические моря: Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море.

Обсуждение результатов

Как было сказано выше, параметр E_{\min} , служащий основным критерием для расчета светового потока ИЗС, нуждается в дополнительной корректировке. Это связано с тем, что значение $E_{\min} = 0,0006 \text{ лк}$, заданное в техническом паспорте видеокамеры, соответствует экстремальным значениям настроек камеры, а именно: относительное отверстие объектива $N_0 = 1/1,2$, скорость электронного затвора $S_0 = 0,5 \text{ с}$. При данных настройках невозможно получить четкого подводного изображения. Скорость электронного затвора не должна превышать значения в $1/50 \text{ с}$, чтобы обеспечить съемку при частоте в 50 кадров в секунду. Максимальное относительное отверстие объектива сужает глубину резкости изображаемого пространства (ГРИП), что приводит к постоянным корректировкам фокуса объектива при изменении высоты аппарата над объектом (дном). Поэтому диафрагму объектива следует прикрывать, уменьшая, таким образом, относительное отверстие, вследствие чего меняется светосила объектива. Относительное отверстие объектива и скорость затвора являются основными параметрами съемки, которые регулируются в процессе работы подводного аппарата. Даже при максимальных настройках камеры и освещенности сенсора $0,0006 \text{ лк}$, уровень полезного сигнала изображения лишь ненамного превышает уровень шума (отношение сигнал/шум $SNR_0 = 10 \text{ дБ}$), тогда как приемлемое отношение сигнал/шум начинается от 30 дБ . С учетом этих замечаний, введем поправочные коэффициенты для минимальной требуемой освещенности сенсора камеры:

$$K_{SNR} = 10^{\frac{SNR - SNR_0}{10}}, K_N = \frac{N_0^2}{N^2}, K_S = \frac{S_0}{S},$$

где SNR, N, S – реально используемые значения параметров камеры для получения качественного изображения.

Скорректированное значение минимальной освещенности сенсора камеры, таким образом, равно $E_{\min}' = E_{\min} \cdot K_{SNR} \cdot K_N \cdot K_S$. Расчетные значения светового потока источников освещения для разных значений относительного отверстия объектива N и скорости затвора S , полученные с учетом всех корректировок, представлены в таблице 1. Для высоты буксировки БНПА над объектом (дном) и расстояния от ИЗС до видеокамеры заданы значения $H = 1,5 \text{ м}$, $b = 1,6 \text{ м}$. Высота буксировки выбрана таким образом, чтобы исследуемые объекты целиком помещались в область, видимую в камере, площадь которой, при заданном угле обзора камеры, составляет порядка $1,5 \text{ м}^2$. Такого значения достаточно для наблюдения микрорельефа, донных животных и растений. Для угла излучения источника задано типичное для матричных светодиодов значение α_s , скорректированное с учетом показателя преломления морской воды.

Таблица 1. Расчетные значения светового потока (лм) источников освещения для различных величин S (строки) и N (столбцы). Темным цветом выделены значения, обеспечиваемые источниками мощностью до 200 Вт

S, N	1/1,2	1/1,4	1/1,6	1/1,8	1/2
1/50	7333	9981	13037	16499	20370
1/100	14666	19962	26073	32999	40739
1/125	18333	24953	32591	41249	50924
1/150	21999	29943	39110	49498	61109
1/175	25666	34934	45628	57748	71294
1/200	29332	39925	52146	65998	81479
1/250	36665	49906	65183	82497	101848

По осям отмечены типичные значения относительно отверстия и скорости затвора, применяемые при видеосъемке. Согласно требованиям к эксплуатации БНПА, буксировка производится на скорости судна, равной 0,5 узла (25 см/с). При такой скорости для получения в каждом кадре четкого изображения значение выдержки находится в диапазоне от 1/100 до 1/50 с. На практике скорость буксировки может достигать до 1,5 узлов (75 см/с), тогда значение выдержки необходимо понижать до 1/300–1/200 с. Значение относительного отверстия оптимально выдерживать в пределах от 1/2 до 1/1,6 для обеспечения достаточной глубины резкости, однако при малых выдержках и недостаточном уровне освещения возникает необходимость повысить это значение.

Матричные светодиоды, как было сказано выше, обладают высокой светоотдачей (от 50 до 200 лм/Вт в зависимости от технологии изготовления). Воспользовавшись таблицей 1, для матричных светодиодов со светоотдачей 150 лм/Вт нетрудно рассчитать необходимую мощность. Для обеспечения максимального значения светового потока (при $N = 1/2$ и $S = 1/250$ с) необходимы ИЗС общей мощностью более 700 Вт, для минимального (при $N = 1/1,2$ и $S = 1/50$ с) – порядка 50 Вт. Максимальная мощность ИЗС ограничена возможностями системы электропитания аппарата. БНПА «Видеомодуль» оснащен аккумуляторными батареями, поэтому, помимо ограничений, связанных с электрической схемой, существует ограничение, связанное с обеспечением необходимого времени работы аппарата. Исходя из этих соображений, был установлен предел мощности ИЗС, равный 200 Вт. Значения светового потока, который может обеспечить ИЗС мощностью, изменяемой в установленных пределах, выделены в таблице 1 темным цветом.

Для матричных светодиодов мощностью более 50 Вт требуется схема отведения тепла, так как с увеличением мощности возрастает тепловыделение, которое может привести к нарушению функционирования ИЗС. Для светодиодов мощностью до 50 Вт отведение тепла осуществимо путем прикрепления подложки светодиода через теплопроводящую пасту на прочный корпус, в который заключен

излучающий элемент. Таким образом, целесообразно применять не один мощный ИЗС, а составлять набор ИЗС небольшой мощности, которые в сумме обеспечивают необходимый световой поток.



Рис. 3. Матричный светодиод Epistar XY-J45, заключенный в герметичный прочный корпус (слева), установленные источники подводного освещения на раме БНПА «Видеомодуль» (справа).

На основе проведенных расчетов в качестве источников освещения были выбраны матричные светодиоды Epistar XY-J45 (рис. 3), характеристики которых приведены в таблице 2. Матричные светодиоды заключены в герметичный подводный корпус из нержавеющей стали с рабочей глубиной 6000 м, соответствующей эксплуатационным параметрам БНПА «Видеомодуль». Иллюминаторы корпусов ИЗС выполнены из оптического органического стекла, которое обеспечивает пропускание светового потока, близкое к 100%. Для обеспечения регулировки необходимого освещения на аппарат установлено 6 таких ИЗС, которые могут включаться и выключаться по отдельности. Помимо регулировки интенсивности освещения, схема включения позволяет отключать электропитание аварийных ИЗС, в том числе вышедших из строя вследствие разгерметизации, не нарушая функционирования остальных ИЗС.

Таблица 2. Характеристики матричного светодиода Epistar XY-J45

Потребление, Вт	30
Напряжение, В	30–34
Макс. прямой ток, мА	1050
Световой поток, лм	3500–4000

Емкость аккумуляторной батареи БНПА составляет 50 А·ч, напряжение питания – 12 В. Энергопотребление остальных узлов (управляющие электронные блоки, видеочасть) составляет порядка 40 Вт. Таким образом, нетрудно рассчитать время работы аппарата при всех включенных осветительных приборах – оно составляет 2,7 часа. Если буксировка происходит со скоростью 0,5 узла, то за это время можно выполнить видеосъемку на разрезе длиной около 1,3 морских миль.

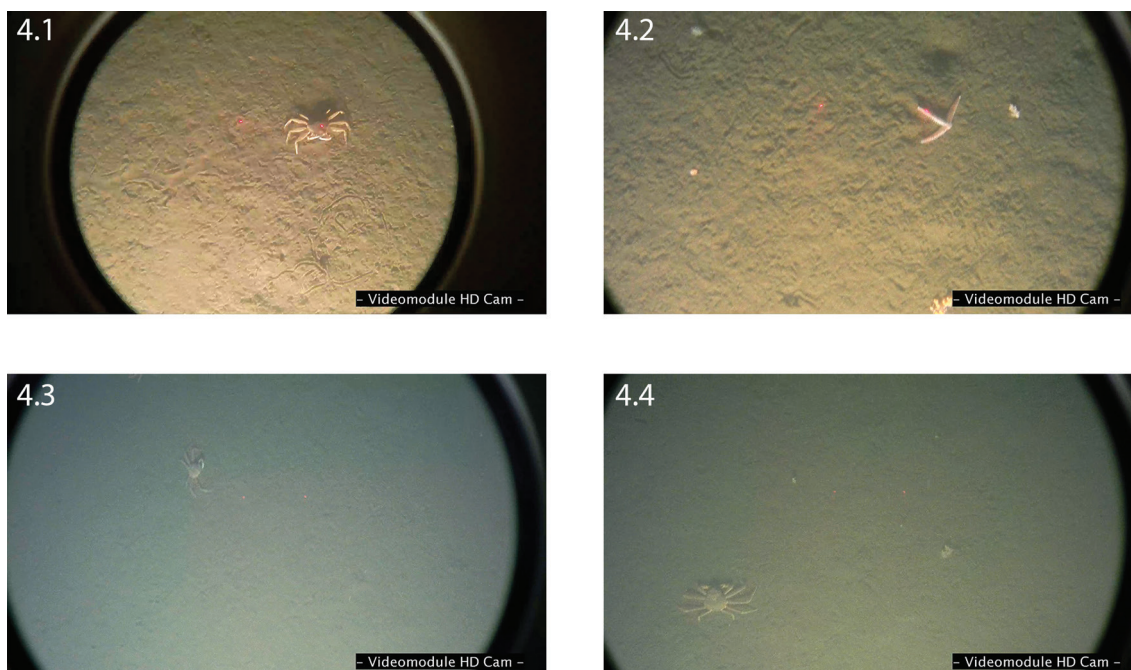


Рис. 4. Пример изображений, полученных с помощью БНПА «Видеомодуль» в ходе 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в 2017 г.

На рис. 4 приведены примеры изображений, полученных с помощью аппарата при различных условиях подводной съемки. Снимки были выполнены во время работ в 69-м рейсе научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в 2017 г. Хорошо видно, что при высоте буксировки, близкой к 1,5 м (4.1, 4.2), мы получаем четкое и хорошо читаемое изображение. Когда высота буксировки превышает оптимальное значение (4.3, 4.4), изображение становится блеклым ввиду ослабления излучения, а также помехи обратного рассеяния.

Для повышения качества подводных изображений могут быть применены методы цветовой коррекции, не рассматриваемые в данной работе, которые позволяют существенно повысить читаемость получаемых изображений и облегчить их дальнейшую интерпретацию. Несмотря на возможности постобработки, первоочередной задачей является получение высококачественного исходного изображения, которое позволяет сразу идентифицировать объект в процессе подводной съемки и оценить его размеры и структуру.

Выводы

На основе предложенных расчетов были подобраны параметры для выбора излучающих элементов для ИЗС БНПА «Видеомодуль». При расчете в качестве базовой характеристики использовалась величина чувствительности видеокамеры, установленной на аппарате. Было показано, что данная характеристика нуждается в дополнительной корректировке, так как значения относительного отверстия и скорости затвора камеры, заданные при измерении чувствительности, непригодны для эксплуатации в реальных условиях. Был также учтен приемлемый уровень

шума, при котором изображение будет хорошо читаемым. В результате была получена сводная таблица для различных значений настроек диафрагмы и скорости затвора камеры, на основе которой были определены требуемые значения светового потока источников подводного освещения.

Излучающие элементы источников освещения выбраны с учетом характеристик аккумуляторной батареи подводного аппарата. Рассчитано приблизительное время работы при полной электрической нагрузке, которое удовлетворяет требованиям к проведению подводных наблюдений.

Качество изображений поверхности дна и подводных объектов, полученных с использованием выбранных источников освещения, позволяет эффективно вести дальнейшую обработку и интерпретацию в интересах биологических и геоморфологических исследований, а также наблюдений разнообразных техногенных и природных объектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010). Макет БНПА «Видеомодуль» построен за счет средств проекта РНФ № 14-50-00095.

Литература

- Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Артемьев В.А., Шеберстов С.В. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 716–729.
- Долин Л.С., Левин И.М. Справочник по теории подводного видения. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 229 с.
- Поярко С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря // *Океанологические исследования*. 2017. Т. 45. № 1. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).14.
- Пронин А.А. Методика сбора и представления материалов видеосъемки поверхности дна с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 12–1. С. 142–147.
- Стопцов Н.А., Груздев М.А. Средства подводного освещения. Л.: Судостроение, 1985. 200 с.
- Флинт М.В., Римский-Корсаков Н.А., Поярко С.Г. Экосистемы Российской Арктики – 2015 (63 рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 3. С. 499–501.
- Sheehan E.V., Vaz S., Pettifer E., Foster N.L., Nancollas S.J., Cousens S., Holmes L., Facq J.V., Germain G., Attrill M.J. An experimental comparison of three Towed Underwater Video Systems using species metrics, benthic impact and performance // *Methods In Ecology And Evolution*. 2016. Vol. 7. No. 7. P. 843–852.
- BEWARD BD3270Z: IP камера BEWARD. – URL: <https://www.beward-shop.ru/ip-camers/snyaty-s-proizvodstva/series-BD/beward-bd3270z/> (дата обращения: 09.08.2018).
- 30W Epistar 45mil Chip High Power LED. – URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/ARPL-30W.pdf> (дата обращения: 09.08.2018).

CHOOSING ARTIFICIAL LIGHT SOURCES FOR UNDERWATER CAMERA

I.M. Anisimov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: anisimov.im@ocean.ru
Submitted 14.08.2018, accepted 30.11.2018*

In order to receive high quality photo and video images with underwater vision systems an important factor is to choose an appropriate artificial light source. We propose calculation to estimate light source parameters to perform underwater surveillance in real time with underwater towed camera. We provide underwater light source parameters to guarantee high performance of underwater camera. We present images received during research vessel «Academic Mstislav Keldysh» expedition and analyze their quality.

Keywords: underwater camera, underwater vision system, camera sensor sensitivity, artificial light source, light attenuation

References

- Burenkov V. I., Gol'din Yu.A., Artem'ev V.A., and Sheberstov S.V.* Opticheskie kharakteristiki vod Karskogo morya po sudovym i sputnikovym nablyudeniym. (Seawater Optical Characteristics of the Kara Sea Derived from Ship and Satellite Data). *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 716–729.
- Dolin L.S. and Levin I.M.* Spravochnik po teorii podvodnogo videniya. (Underwater vision theory handbook), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, 229 p.
- Flint M.V., Rimskii-Korsakov N.A., and Poyarkov S.G.* Ekosistemy Rossiiskoi Arktiki – 2015 (63 reis nauchno-issledovatel'skogo sudna «Akademik Mstislav Keldysh») (Ecosystems of the Russian Arctic-2015 (63rd Cruise of the research vessel Akademik Mstislav Keldysh)). *Okeanologiya*, 2016, Vol. 56, No. 3, pp. 499–501.
- Poyarkov S.G., Rimskii-Korsakov N.A., and Flint M.V.* Tekhnicheskie aspekty issledovaniia okruzhayushchei sredy zapadnoi chasti Karskogo moraya. (Technical aspects of the environmental research of Kara sea western part), *Okeanologicheskie issledovaniya*, 2017, Vol. 45, No. 1, doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).14.
- Pronin A.A.* Metodika sbora i predstavleniya materialov videos'emki poverkhnosti dna s pomoshch'yu neobitaemogo podvodnogo buksiruemogo apparata «Videomodul». (Collection and representation data video movies of bottom surface in oceanological investigations with underwater towing equipment), *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2017, No. 12–1, pp. 142–147.
- Stoptsov N.A. and Gruzdev M.A.* Sredstva podvodnogo osveshcheniya. (Means of underwater lighting), Leningrad: Sudostroenie, 1985, 200 p.
- Sheehan E.V., Vaz S., Pettifer E., Foster N.L., Nancollas S.J., Cousens S., Holmes L., Facq J.V., Germain G., and Attrill M.J.* An experimental comparison of three Towed Underwater Video Systems using species metrics, benthic impact and performance. *Methods In Ecology And Evolution*, 2016, Vol. 7, No. 7, pp. 843–852.
- <https://www.beward-shop.ru/ip-camers/snyaty-s-proizvodstva/series-BD/beward-bd3270z/>, (last accessed in 09.08.2018).
- <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/ARPL-30W.pdf>, (last accessed in 09.08.2018).