

Валерий Молодцов | Илья Григорьев

На дне, или Луч света в подводном царстве

Когда речь идет о подводных исследованиях, то обывателю прежде всего интересен их конечный результат и, естественно, сама романтика происходящего: раскрытые тайны, затонувшие корабли, клады, сокровища. Однако мало кто воспринимает такие погружения как серьезный технический процесс, в котором задействован целый комплекс сложнейших механизмов и приборов. И уж, конечно, лишь единицы знают, какую колоссальную работу проводят современные ученые, чтобы у водолазов появилось еще больше возможностей приоткрыть завесу тайн подводного мира. Каждая дополнительная минута под водой и каждый сантиметр, освоенный на новой глубине, — это сотни, а то и тысячи часов исследований, сложных опытов, испытаний и научных открытий, проведенных в лабораториях и конструкторских бюро.

С ноября 2012 года светотехнический холдинг «Светлана-Оптоэлектроника» активно сотрудничает с автономной некоммерческой организацией «Национальный центр подводных исследований» (Санкт-Петербург), работающей под эгидой Русского географического общества. АНО «Национальный центр подводных исследований» занимается исследованиями подводных объектов: затонувших судов, подводных пещер, изучением гидросферы и подводной биосферы, а также профессиональной

подводной фото- и видеосъемкой в Финском заливе, Балтийском море и т. д.

В частности, последний проект, в котором принимает участие АНО «Национальный центр подводных исследований», — это изучение затонувшего в 1869 году в Финском заливе между островами Гогланд и Соммерс парусно-винтового фрегата «Олег» (рис. 1). Экспедиция вызвала широкий общественный интерес. В том числе в проекте принял участие и Президент Российской Федерации В. В. Путин, который, являясь главой попечительского совета Русского географического общества, 15 июля 2013 года также совершил погружение к затонувшему кораблю на батискафе Sea Explorer 5.

Специалисты ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» узнают из первых рук о проблемах, возникающих при проведении подводных работ. В первую очередь это касается проблем с освещением.

В обычных условиях визуальное восприятие человеком любого объекта происходит сквозь слой воздуха, отделяющий наблюдателя от объекта наблюдения. При подводных работах таким разделителем становится вода, которая гораздо сильнее поглощает и рассеивает свет, а также искажает цветовое восприятие. Под водой (принимая в расчет в первую очередь естественные водные источники — реку, море, озеро и т. д.) видимость при погружении всего на несколько метров (естественно, при использовании дополнительной оптики — маски для подводного плавания) уже затруднена. Основные причины ухудшения видимости — продукты жизнедеятельности микроорганизмов, химические примеси, механические замутнители: ил, грязь, торф. Даже если вода кажется идеально прозрачной, при условии яркой солнечной погоды объект на расстоянии 20 м уже может оказаться трудно различимым. Результат остается неизменным даже при использовании дополнительной оптики, в том числе фото- и видеотехники.

Проблемы с освещением негативно сказываются на всех видах деятельности человека под водой: так, по свидетельству водолазов МЧС, именно плохая видимость в большинстве случаев осложняет подводные поисково-спасательные работы.

При подводном строительстве особое внимание также уделяется качеству освещения: некоторые

виды подводных строительно-монтажных работ вообще невозможно осуществить без соответствующего уровня освещения (Единые правила безопасности труда на водолазных работах — РД 31.84.01-90).

Особые трудности возникают при проведении подводных работ, связанных с поднятием затонувших объектов. Например, правильное определение цвета материала корпуса объекта позволяет определить степень его повреждения в результате воздействия соли, воды и микроорганизмов, разработать специальные мероприятия по укреплению корпуса при подъеме и заранее определиться с необходимой методикой консервации поднимаемого объекта. Как объясняет руководитель экспедиции к фрегату «Олег» Роман Прохоров, под водой нарушается клеточная структура дерева, межклеточные перегородки заполняются водой. После поднятия на поверхность дерево резко уменьшается в объеме, теряет форму, а в последующем даже рассыпается. Чтобы сохранить деревянное изделие, его обрабатывают полимерным составом, заполняющим межклеточное пространство. Та же ситуация и с металлическими конструкциями: под водой они окисляются, но при возвращении на сушу этот процесс ускоряется в несколько раз. Предмет может буквально рассыпаться за несколько дней. Поэтому при консервации предусмотрены специальные методы тепловой и химической обработки. Не меньшие сложности возникают и при профессиональной фото- и видеосъемке.

По оценкам специалистов АНО «Национальный центр подводных исследований», в воде природного источника осуществлять фото- и видеосъемку можно лишь на дистанциях не более 5 м от водной границы, так как с увеличением расстояния видимость в воде резко падает. При подводной съемке на средних глубинах (до 10–15 м) обычно еще используется естественное солнечное освещение, однако следует иметь в виду, что солнечные лучи идут в воде почти отвесно и создают контрастное освещение верхним светом. Одновременно эти лучи высвечивают пространство между объектом съемки и объективом, что сильно затрудняет видимость.



Рис. 1. Фрагмент фрегата «Олег»

На текущий момент аквалангисты, участвующие в подводных работах, применяют импульсные электронные фотовспышки с низковольтным питанием, маломощные батарейные или аккумуляторные подводные фонари, укрепляемые на шлеме или прямо на фотобоксе, в лучшем случае — один более-менее мощный фонарь, зафиксированный на подводном буксировщике. Но то, что годится любителю или, скажем, водолазу-биологу, мало подходит для проведения масштабных подводных работ, при которых требуется освещать большие пространства. В таких случаях (например, при подъеме затонувших кораблей) необходимы значительно более мощные системы освещения.

При рассмотрении предложений, действующих на рынке подводных светильников, предназначенных для работы на глубине от 10 до 100 м, оказалось, что полноценных систем освещения нет вообще. Единичные относительно маломощные фонари, имеющиеся на рынке, предложены в двух вариантах по исполнению системы питания: автономные (аккумуляторные) и проводные (питание подводится по кабелям с надводного объекта), а также в двух вариантах по источнику света: галогенные и светодиодные.

В последнее время галогенный вариант очень сильно вытесняется вариантом светодиодным. Это и понятно: общий световой поток светильника определяется количеством энергии, которое способен предоставить источнику света источник энергии. В случае с автономными светильниками определяющим фактором является емкость аккумуляторных батарей. Для ее повышения (а значит, светового потока и времени автономной работы) необходимо увеличивать массу и габариты светильника, что приводит к усложнению подготовительных работ, ухудшению маневренности в воде и в результате к ухудшению условий работы подводников. В случае с проводными светильниками возникают сложности с передачей большей мощности по проводам. По требованиям безопасности, напряжение, подаваемое на подводное оборудование, не должно превышать значений, определенных как безопасное сверхнизкое напряжение (БСНН) 50 В, поэтому для увеличения передаваемой мощности следует увеличивать ток. С ростом тока приходится увеличивать сечение проводов, что приводит к значительному росту массы изделия и как следствие — ухудшению маневренности.

Очевидно, что для уменьшения веса (а соответственно, для улучшения условий работы подводника) нужно искать способ увеличения световой эффективности источника света. В настоящий момент наиболее энергоэффективными считаются два типа источников света — газоразрядные и светодиодные, реально доступная в серийном производстве эффективность обоих вариантов приближается к 120 лм/Вт, однако газоразрядные лампы для подводных работ имеют следующие основные недостатки, отсутствующие у светодиодов:

- для розжига разряда в лампе нужно иметь относительно высокое напряжение, что при

повреждении корпуса светильника может оказаться опасным для подводника;

- лампы при том же световом потоке имеют большую площадь светящегося тела, что не позволяет изготавливать эффективную узкоградусную оптику;
 - лампы достаточно хрупки и, если светильник подвергается ударам, могут быть повреждены.
- Таким образом, на сегодня светодиодный светильник оптимален для подводных работ.
- Все предложенные светодиодные светильники построены по одному принципу и имеют примерно одинаковые характеристики:
- фактический световой поток: от 1800 до 2200 лм;
 - цветовая температура: от 6000 до 7000 К;
 - индекс цветопередачи: CRI 60;
 - угол освещения: 25 либо 100 градусов;
 - максимальная глубина погружения: 100 метров;
 - время автономной работы: от 60 до 90 минут.

Основной проблемой применимости данных решений для подводных работ является низкий индекс цветопередачи и слишком высокая цветовая температура. По сути, в подводных условиях у светильников возникает очень сильное смещение цвета изображения в сторону синего (складывается изначально синюшный оттенок света и «уход» в синюю область, который дает вода), для компенсации которого нужны специальные красные фильтры.

Вторая по значению проблема — нерациональный выбор возможных углов светового потока. Обычно для съемок используются объективы с шириной порядка 60 градусов, но иногда применяются и более узкоградусные. Таким образом, требуется разработать конструкцию, позволяющую при необходимости менять угол пучка света.

Третья проблема — недостаточный световой поток светильников для работы на глубине более 20 метров.

Специалисты ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» решили данные проблемы. Чтобы обеспечить приемлемый индекс цветопередачи и цветовой температуры, совместно со специалистами АНО «Национальный центр подводных исследований» был проведен подбор требуемых источников света из целой линейки специально изготовленных для этого проекта мощных многокристалльных светодиодных матриц. Работы велись в условиях искусственных и естественных водоемов. В результате были определены необходимые параметры качества света и разработана рецептура и технология создания наиболее эффективных матриц, отвечающих поставленным задачам. На рис. 2 представлена фотография, сделанная в ходе исследовательских работ в Финском заливе в 2013 году. Подводное освещение выполнено светильниками производства ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника».

Также реализовано обеспечение требуемой диаграммы направленности светильника. Во всех имеющихся на рынке светильниках диаграмма направленности формируется

с помощью вторичной оптики, надеваемой на светодиоды, находящиеся в воздушной среде; затем воздушный объем отделяется от водной среды с помощью плоского защитного стекла. Таким образом, в данной оптической схеме свет от светодиода проходит последовательно следующий путь: воздушный промежуток от светодиода до линзы — линза — воздушный промежуток от линзы до стекла — стекло — вода. Соответственно по пути свет также проходит четыре границы раздела сред, что негативно сказывается на потерях светового потока. В разработанной ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» конструкции в качестве линзы используется защитное наружное стекло. Таким образом, свет от светодиодной матрицы до воды проходит всего две среды: воздушный промежуток и линзу. И всего две границы раздела сред: воздух — защитное стекло и защитное стекло — вода.

По результату серии совместных испытаний со специалистами АНО «Национальный центр подводных исследований» были подобраны три типа требуемых для практической подводной работы диаграмм направленности светильника:

- с шириной диаграммы по уровню 0,5 в водной среде 18° (что соответствует 24° в воздушной среде);
- с шириной диаграммы по уровню 0,5 в водной среде 44° (что соответствует 60° в воздушной среде);



Рис. 2. Исследовательские работы в Финском заливе в 2013 году

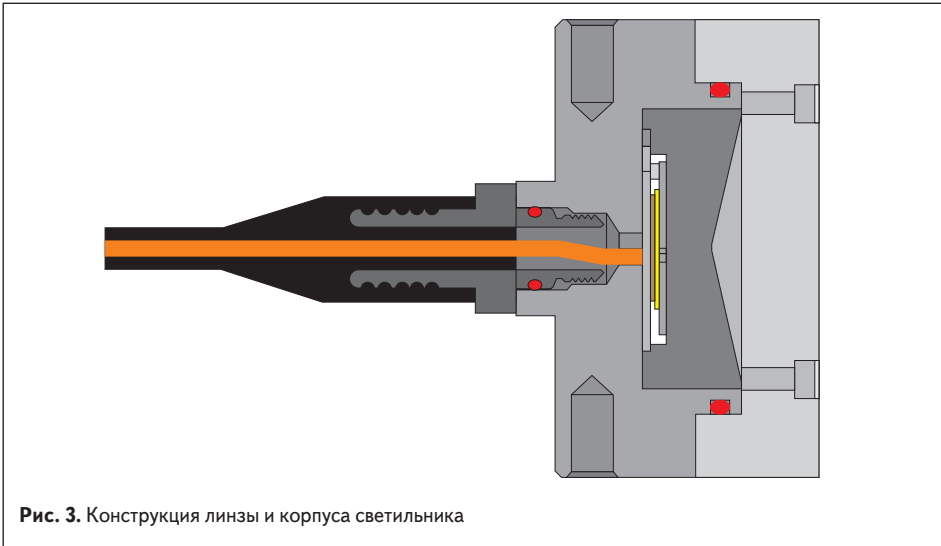


Рис. 3. Конструкция линзы и корпуса светильника

- с шириной диаграммы по уровню 0,5 в водной среде 60° (что соответствует 81° в воздушной среде).

Кроме того, выяснилось, что для создания необходимых сцен освещения должна существовать возможность выбора нужной из перечисленных диаграмм направленности. Однако изменение диаграммы может производиться не «по горячему», под водой, а на надводном объекте, при подготовке к погружению с учетом фактического качества воды и требуемой сцены освещения. Для быстрой смены диаграммы была разработана специальная легкая для демонтажа конструкция линзы и корпуса светильника (на рис. 3 приведена в разрезе, прокладка отмечена красным) с использованием уплотнительной кольцевой прокладки. Данная конструкция характерна тем, что схожие решения применяются при создании уплотнений в гидравлических системах механизмов, и потенциально пригодна для давлений до 300 атмосфер. Расчетное рабочее давление для корпуса светильника с учетом его конструктивных особенностей составляет до 30 атмосфер, что соответствует глубине погружения до 300 метров.

Для повышения надежности изделия и уменьшения его массы и габаритов было принято решение об отказе от разъемных электрических соединений с заменой их неразъемными.



Рис. 4. Работа автономного (аккумуляторного) светильника

На провод устанавливается штуцер, который вулканизируется в монолитное соединение с проводом (рис. 3), а соединение штуцера с корпусом светильника выполняется по тому же принципу уплотнения гидравлических систем, что и линза.

При разработке и изготовлении первых образцов не обошлось и без проблем. Основные из них оказались, как часто это бывает, в самых неожиданных местах:

- Для использования в светильнике изначально был заложен провод в резиновой изоляции типа Н07RR-F производства одного отечественного предприятия. Однако на практике данный провод оказался переменного внешнего диаметра и по сечению отличен от цилиндрического, в результате чего не обеспечивалось требуемое качество герметизации соединений при вулканизации штуцера. Провод пришлось заменить аналогичным кабелем иностранного производителя.
- Для изготовления защитного стекла (линзы) изначально была применена лазерная обработка. Но практические испытания показали, что линза, изготовленная с помощью лазера, при работе в условиях естественного водоема быстро покрывается сетью микротрещин и мутнеет. Не помогла даже специальная термическая обработка после изготовления, направленная на устранение зон напряжений, возникших в результате локального нагрева при лазерной резке. Пришлось вернуться к более традиционным методам: токарной обработке и изготовлению на станках с числовым программным управлением.

С точки зрения светового потока было практически установлено, что оптимальный световой поток с одной оптической головки (светильника) должен примерно составлять 5000 лм: меньший световой поток может оказаться недостаточным для создания качественного освещения, больший световой поток формирует в мутной воде избыточно заметный светящийся ореол вокруг оптической головки, мешающий работе аквалангистов.

В результате совместной работы специалистов ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» и АНО «Национальный центр подводных исследо-

ваний» изготовлено семейство подводных светильников:

- Линейка (с различным конструктивом несущей рамы для обеспечения разных вариантов монтажа под водой) проводных (с длиной питающего провода от 60 до 110 метров) систем освещения, включающих:
 - бензиновый электрогенератор переменного тока 220 В номинальной мощностью 2,3 кВтА;
 - разделительный понижающий трансформатор, обеспечивающий питание светильников безопасным напряжением и допускающий подключение одновременно до четырех комплектов проводных подводных светильников;
 - несущая рама с установленным светильником, предусматривающим комплект питающих проводов, блок преобразователя питания и шесть вращающихся оптических головок, каждая со световым потоком 5000 лм.
- Автономный (аккумуляторный) светильник (рис. 4), предназначенный для монтажа на подводный буксировщик и имеющий четыре поворотные оптические головки с потоком 5000 лм каждая. Время автономной работы устройства превышает полтора часа. Светильник обладает небольшой положительной плавучестью и может использоваться как закрепленным на подводном буксировщике, так и в качестве переносного фонаря. Оснащен литий-ионными аккумуляторами без встроенной защиты, собранными в параллельно-последовательную схему. Система зарядки контролирует и отключает каждый элемент независимо при достижении полного заряда. Также контролируется температура аккумуляторов, и система заряда не производит их зарядки при слишком низких или слишком высоких температурах. При работе светильника применена схема, не позволяющая произвести глубокий разряд батарей или довести один элемент из цепочки до переполсовки. Для уменьшения собственного веса конструкции часть систем заряда вынесена во внешнее зарядное устройство.

Выводы

- Опытные образцы светодиодных подводных светильников прошли первый этап испытаний при погружениях специалистов АНО «Национальный центр подводных исследований», продукт получил высокую оценку профессиональных водолазов, имеющих практический опыт не менее 20 лет.
- В процессе совместной работы были выявлены дополнительные требования к светодиодной подводной системе освещения: необходимо создать интерфейс дистанционного управления системой освещения с функцией управления яркостью, а также разработать ручной фонарик, по своим световым характеристикам схожий с уже имеющимися системами освещения.
- В данный момент на рынке не существует образцов аналогичных инновационных продуктов с указанными характеристиками. ●