

УДК 628.944

Ключевые слова: светодиод, фонарь, мощность, световой поток, цвет свечения, класс защиты, угол подсвета, глубина погружения, режимы работы, время работы, дальность действия, напряжение питания, ударопрочность, масса, габариты

Виктор Волков, д. т. н., профессор, академик РАЕН¹ | volkvik2009@yandex.ru |
Павел Гиндин, д. т. н., профессор, академик АИН им. А. М. Прохорова¹ |
Владимир Карпов, к. ф.-м. н.¹ | Сергей Кузнецов¹

Применение светодиодных фонарей для подводной охоты и дайвинга

➔ В статье рассматриваются различные виды светодиодных подводных фонарей и физические основы видения под водой. Представлены основные параметры типичных подводных фонарей, особенности их применения, а также приведен внешний вид.



В настоящее время светодиоды (СД) нашли широкое применение для создания фонарей, предназначенных для подводной охоты и дайвинга. [1, 2]. Такие СД-фонари используются для поиска затонувших кораблей, подводных строительно-монтажных, ремонтных и аварийно-спасательных работ, для проведения спецопераций, исследований континентального шельфа, разведки подводных полезных ископаемых, обнаружения косяков рыб, районов повышенной биопродуктивности, для подводного экологического контроля и в иных целях.

Наблюдение под водой в значительной степени затруднено из-за того, что оптические свойства воды сильно отличаются от свойств воздуха. Прозрачность воды примерно в 1000 раз хуже, чем у воздушной среды. Прозрачность вод различных природных бассейнов зависит главным образом от количества взвешенных в воде частиц, содержания растворенных веществ и от сезонных биологических изменений, связанных с развитием планктонных организмов. Если в удаленных от берега центральных частях морских бассейнов прозрачность вод более стабильна, то в прибрежной полосе она подвержена широким сезонным изменениям и зависит от стока рек, наличия волнения и характера донных отложений [1].

Прозрачность воды меняется с глубиной. Обычно более мутная вода бывает в поверхностных слоях воды, более прозрачная — на глубине. Однако бывает и наоборот. Происходит это из-за наличия сильного придонного течения, которое взмучивает илистый грунт и уменьшает видимость. Это возможно также из-за оползней с крупных скалистых гребней на дне океана или же из-за насыщения воды на больших глубинах сероводородом (как, например, в Черном море из-за наличия трупных останков) [1].

Поглощение водой монохроматического светового потока, образующего пучок параллельных лучей, определяется по показателю закона:

$$\Phi_k = \Phi_0 \cdot 10^{-kx}, \quad (1)$$

где Φ_k — световой поток, пропущенный слоем воды; Φ_0 — входящий световой поток монохроматического света; k — показатель поглощения слоя воды, m^{-1} .

¹ АО «Московский завод «Сапфир».

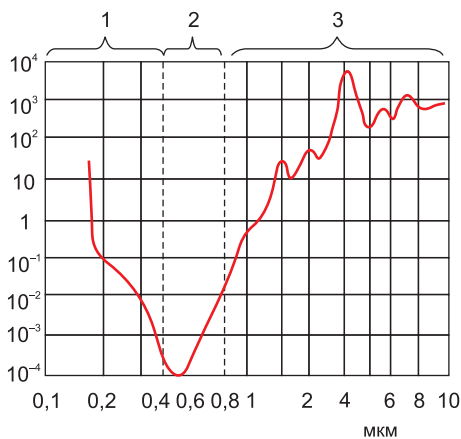


Рис. 1. Кривая ослабления излучения в морской воде как функция длины волны для областей спектра: 1 — ультрафиолетовой; 2 — видимой; 3 — инфракрасной

Кроме поглощения, в воде происходит интенсивное рассеяние света. Оно зависит от прозрачности воды и от длины волны света. Вследствие поглощения и рассеяния света в воде происходит его ослабление. Из-за наличия рассеяния пучок параллельных световых лучей перераспределяется по некоторой кривой, называемой индикатрисой рассеяния. Рассеяние вперед в сотни и тысячи раз выше, чем рассеяние назад [1]. Этим объясняется вытянутость индикатрис. Однако доля и рассеянного назад света также весьма велика. Рассеянный свет создает дымку, маскирующую наблюдаемые объекты и снижающую контраст в их изображении. Обилие в воде рассеянного света создает мягкие картины, лишённые густых теней и поэтому обладающие малым контрастом.

Рассеяние света определяется также по показательному закону:

$$\Phi_{\sigma} = \Phi_0 10^{-\sigma x}, \quad (2)$$

где Φ_{σ} — световой поток, пропущенный рассеивающим слоем воды; σ — показатель рассеяния света, зависящий от числа взвешенных частиц в единице объема воды и от размера этих частиц; x — толщина слоя воды; Φ_0 — входящий поток монохроматического света.

При этом:

$$\sigma = c \lambda^{-v}, \quad (3)$$

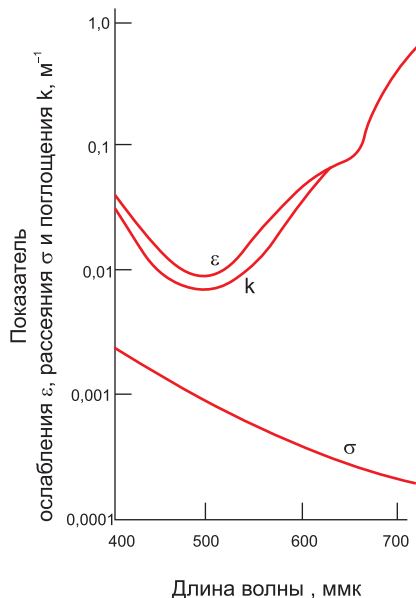


Рис. 2. График ослабления света для оптически чистой воды: k — показатель поглощения; σ — показатель рассеяния; ϵ — показатель ослабления

где c — постоянный коэффициент; λ — длина волны; v — показатель степени, зависящий от радиуса рассеивающих частиц.

Освещенность поверхности воды зависит от времени суток, а в дневных условиях — от высоты солнца над горизонтом. Соответственно, и освещенность в море на разных глубинах зависит от этих факторов. Причем ослабление света происходит в основном за счет рассеяния. С изменением глубины погружения происходит и значительное изменение освещенности, к тому же солнце, закрытое даже небольшим облачком, может изменить освещенность на поверхности моря в 2–10 раз [1].

Вода имеет различный коэффициент ослабления для различных длин волн. Она лучше всего пропускает синие или зеленые лучи (в мутной воде — желтые), сильно поглощает красные и особенно ИК-лучи. Спектральные характеристики воды приведены на рис. 1.

Однако на небольших глубинах (порядка нескольких метров) возможность восприятия всех цветов в пределах видимой области спектра сохраняется. Поэтому возможно применение осветителей белого цвета свечения при непосредственном наблюдении под водой (например, для дайвинга и подводной охоты).

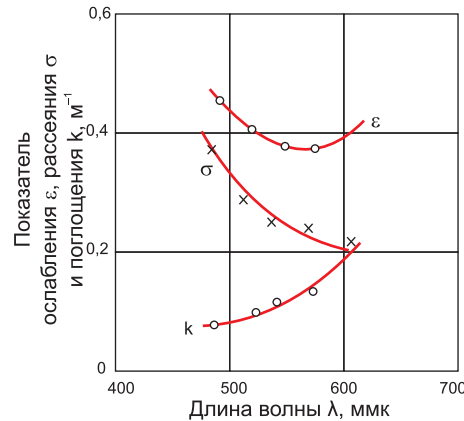


Рис. 3. Показатели k , σ , ϵ для естественного водоема

Ослабление света водой определяется по показательному закону:

$$\Phi_{\epsilon} = \Phi_0 10^{-\epsilon x}, \quad (4)$$

где Φ_{ϵ} — монохроматический поток, прошедший через слой воды; ϵ — показатель ослабления; x — толщина слоя воды.

Минимальное значение ϵ составляет $0,01 \text{ м}^{-1}$, однако резко возрастает к границам спектра. Прозрачность характеризуется коэффициентом пропускания света толщей воды, равной 1 м:

$$\Theta = \Phi_{\epsilon} \Phi_0^{-1} 10^{-\epsilon x}. \quad (5)$$

В зависимости от мутности среды максимум спектральной чувствительности воды и, соответственно, спектрального распределения освещенности находится в пределах 470–580 нм.

На рис. 2 представлен график кривой поглощения для оптически чистой воды: k — показатель поглощения; σ — показатель рассеяния; ϵ — показатель ослабления. На рис. 3 представлены показатели: k , σ , ϵ для естественного водоема. На рис. 4 дана спектральная прозрачность предельно чистой воды в сравнении с различной природной водой. На рис. 5 приведена схема отражения и преломления луча света от водной поверхности. На рис. 6 представлен график зависимости пропускания светового потока от глубины, м. На рис. 7 показан график ослабления освещенности, зависящей от длины волны света при пути света в воде 3 м.

Абсолютное ослабление естественного излучения водной средой на глубине 15 м

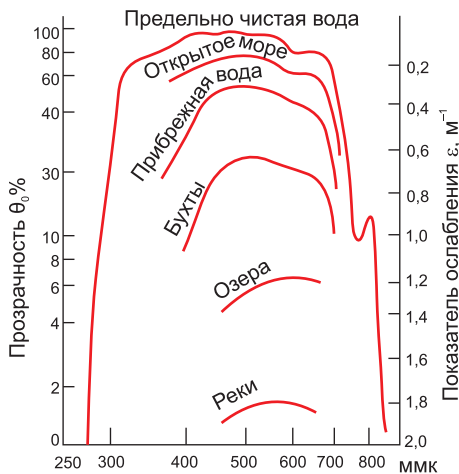


Рис. 4. Спектральная прозрачность предельно чистой воды в сравнении с различной природной водой.

составляет от нескольких раз до двух порядков в зависимости от состояния среды. Поэтому работа без подсвета возможна при естественной освещенности на поверхности моря свыше 0,1 лк, то есть в сумерки. В ночное время требуется активный режим работы (искусственный подсвет). При этом достижение максимального контраста в изображении достигается разнесением фонаря и глазами пловца по фронту (увеличением базы), так как при этом уменьшается влияние световой дымки.

В процессе подводного видения большую роль играет неоднородность показателя преломления воды.

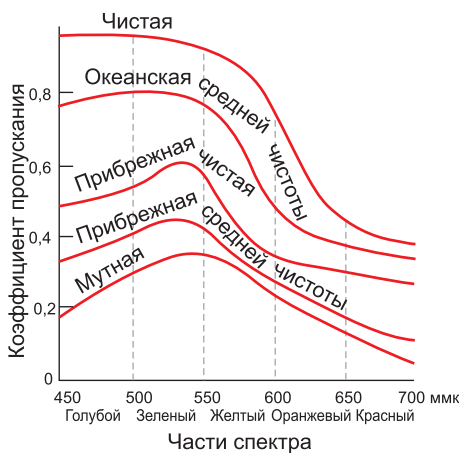


Рис. 7. График ослабления освещенности, зависящей от длины волны света при его пути в воде 3 м

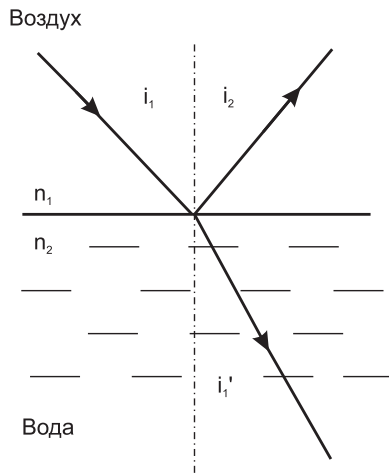


Рис. 5. Схема отражения и преломления луча света относительно водной поверхности: i_1 — угол падения светового луча на поверхности воды; i_2 — угол отражения; i_1' — угол преломления светового луча при прохождении через водную поверхность, где $n_1 = 1$ — показатель преломления для воздуха, $n_2 = 1,337$ — показатель преломления для водной среды

Его изменения зависят от колебаний температуры и солености воды. Это вызывает изменения ее плотности и, соответственно, показателя преломления. Преломление света на границе двух водных масс с различной температурой из-за возникновения волн и завихрений носит хаотический характер. Это может привести к сильному искажению хода лучей и, соответственно, формы наблюдаемого объекта. Для обеспечения минимальных искажений необходимо, чтобы в направлении, перпендикулярном линии визирования, был минимальный температурный градиент. Ясно, что это условие далеко не всегда выполнимо.

Таблица 1. Основные параметры СД белого цвета свечения направленного действия ОАО «НПЦ «ОПТЭЛ», применяемых в фонарях для подводной охоты и дайвинга

Модель	$I_{пр}$, мА	$U_{пр}$, В	Световой поток, лм		Сила света, кд	$T_{цв}$, К	Световая отдача, лм/Вт
			не менее	типичный			
У-130 Бл	350	3,5	100	110	30	4000–5000	105
У-130 Бл-1	350	3,5	115	125	35	4000–5000	125
У-133 Бл	350	9,5	270	300	95	4000–5000	100
У-133 Бл-1	350	9,5	320	360	105	4000–5000	120
У-137 Бл	350	20	500	520	150	4000–5000	80
У-130 Бл-Т	350	3,5	100	110	30	3000–4000	115
У-130 Бл-Т1	350	3,5	125	140	40	3000–4000	140
У-133 Бл-Т	350	9,5	270	310	95	3000–4000	110
У-133 Бл-Т1	350	9,5	350	380	110	3000–4000	135
У-345 Бл-71	350	3,5			4500	4000–5000 или 3000–4000	3800

Примечания. $2q_{0,5}$ — угол расходимости излучения на уровне половинной его интенсивности — для всех моделей составляет 120° , кроме У-345 Бл-71, для которой $2q_{0,5} = 4 \pm 11$; $I_{пр}$ — ток в прямом направлении; $U_{пр}$ — напряжение питания в прямом направлении; $T_{цв}$ — цветовая температура.

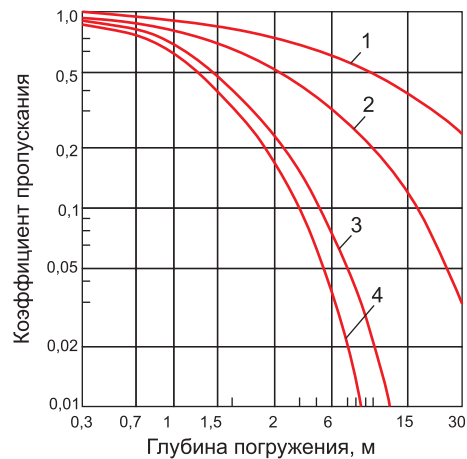


Рис. 6. График зависимости пропускания светового потока от глубины (в м): 1 — океанская вода высокой прозрачности; 2 — океанская вода средней прозрачности; 3 — прибрежная вода средней прозрачности; 4 — мутная вода

Поэтому для исключения неоднородностей во времени необходим импульсный режим работы прибора наблюдения. При этом уменьшается общая экспозиция за счет подавления света, рассеянного неоднородностями.

В водной среде происходит частичная поляризация света не только при отражении, но и при его рассеянии. В связи с этим полезно применение поляризационных фильтров. Они могут в значительной степени подавить рассеянный свет, однако по эффективности не сравнимы с разнесением по фронту фонаря и глаз пловца [1]. Тем не менее применение поляризационных фильтров, по одним данным, позволяет повысить дальность подводного видения на ~10%, а по другим — за счет подавления рассеянного света контраст может увеличиться в 3–16 раз [1].

На практике прозрачность воды оценивается по глубине видимости белого диска диаметром 300 мм. Глубина видимости диска определяется как сумма двух измерений (глубины исчезновения диска при погружении и глубины появления диска при его подъеме), разделенная пополам.

При этом Z — глубина видимости белого диска. Она зависит от ослабления освещенности (рассеяния и поглощения света водой). Для приближенных расчетов и определения показателя ослабления можно воспользоваться формулой Гершуна:

$$E = 3,5 Z^1. \quad (6)$$

Однако надо помнить, что для различных водоемов коэффициент меняется. По замерам Аткинса и Грехема, он равен 2,2.

Видимость белого диска для природных вод колеблется от нескольких десятков

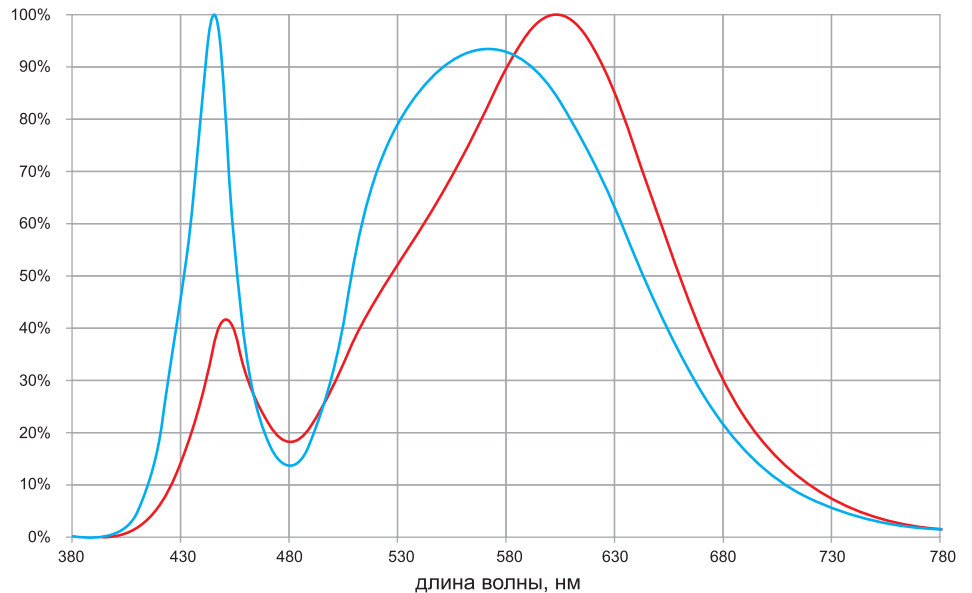


Рис. 8. Типичная спектральная зависимость светового потока СД различных моделей для подводных фонарей: а) ХНР70.02 — кривая красного цвета; б) ХНР50.02 — кривая синего цвета

Таблица 2. Основные параметры СД-фонарей белого света для дайвинга (по данным проспектов фирм)

Фирма, модель	Глубина погружения, м	Мощность, Вт/световой поток, лм	$2\alpha_{0,5}$, град.	$U_{пр.В}$	Масса, г/габариты, мм	$T_{н, ч} / T_{р, ч}$	Примечание
Beuchat, Led 3 Watt	До 80	10/150	0,75	6	-/Ш43×167	6/10 ⁵	3 шт. СД, $T_{цв} = 5500$ К, эквивалентен 10-Вт галогенной лампе
Aqua Lung-Technisub Lumen LED	120	≥50/-		9	-/Ш60×135	12/-	4 шт. СД, $T_{цв} = 5500$ К, эквивалентен 50-Вт ксеноновой лампе
Aqua Lung Multi-Light		3/-	6	6	-/Ш50×220		$T_{цв} = 6500$ К
TUSA, TL-300 LED	120	4,8/130	42	6	230/Ш33×146	3/10 ³	
SCUBAPRO, NOVA 230	120	5/230			450/Ш15×250	18-20/-	$T_{цв} = 6000$ К
Sporasub Flash Led	100			9	390/Ш59×195	2/-	
UK SL4 eLed	150	3-5/116		6	431/63×43×157		
Intova, Supernova Torch	120	25/180-500			690±10/69×69×168	3/10 ⁵	3 режима: ближний свет, дальний свет, стробоскоп
Magic Shine, MJ-810E XV214MCE	100	-/900		6	365/Ш55×218	2/10 ⁴	$T_{цв} = 5500$ К, $D_{св} > 500$ м; режим работы: 100, 50, 20%, стробоскоп
Tektite TREK 6000 EX60	100	-/126		6	700/Ш70×160	4-5/10 ⁴	60 шт. СД
Tektite Excursion LS4	615	4/100	10	6	700/Ш70×160	15/10 ⁴	
Tektite Excursion STAR	300		10	4,5	300/Ш50×200	15/10 ⁴	
MagicShine MJ-850 SST-50	100	-/1200		6	673/Ш60×226	-/5×10 ⁴	$D_{св} > 1000$ м; режим работы: 100, 50, 20%, стробоскоп
INTOVA NOVA WIDE ANGLE LED	120	4,7/130		3	255/Ш38×159	6-8/-	
Aquatec AquaStar 3	100	3/160	22	9	-/Ш40×160	5/-	$T_{цв} = 5500$ К
Drive Rite LED 700 SLIMLINE	152	-/700		12	Фонарь: -/Ш50,8×101,6, батарея: 1590/Ш65×230	4/10 ⁴	$T_{цв} = 6500$ К, энергопотребление 6 Вт, батарея питания NIMH
ProLUMEN Magicshine 200	100	-/200		6		1,5/5×10 ⁴	СД CREE XP-E, корпус — алюминиевый сплав 6061-16
ProLUMEN, Magishine MJ-810	100	-/680-900		6	-/Ш55×215	2/5×10 ⁴	$D_{св} > 1000$ м, стробоскоп $F = 30$ Гц
ProLUMEN Magicshine MJ 852	100	-/200		6	-/Ш37×114,8	2/5×10 ⁴	$T_{цв} = 6500$ К, $D_{св} > 500$ м
Princeton Tec. IMPACT XL BLACK		-/145		6	195/-	50/-	
Princeton Tec. SHOCKWAVE-R LED YELLOW		-/400		6	1075/-	26	3 шт. СД
ТЕКТИТЕ EXPEDITION 1400	300			6	300/Ш50×200	20/-	14 шт. СД
ТЕКТИТЕ EXPEDITION 1900	300	-/40		6	300/Ш50×200	12/-	19 шт. СД
Light and Motion SOLA Photo 600	90	-/670	60		283/Ш56×101	1,3/-	6 шт. белых СД, 4 шт. красных СД
Light and Motion SOLA Photo 500	90	-/1500	60		283/Ш56×101	1,3/-	4 шт. СД
LIC 343 Liquid Image	120	5,5/300			191/Ш37,4×126	3/-	Для видеомасок LYQ-301, 302, 304, 310, 311, 320, 321, 322, 323, $T_{цв} = 6000-7000$ К
Sporasub, Led Lenser D14	60	-/150	>180	6	220/длина 160	До 50/-	$D_{св} = 180$ м
ПКФ «Экотон», «Экотон-8»	100	Осевая сила света 12×10^3 кд	5	3,7	400/Ш75×216	8/5×10 ⁴	$T_{цв} \geq 5500$ К (белый цвет), $I_{max} = 508-510$ нм, $x = 0,115$, $y = 0,625$ (сине-зеленый цвет)

метров до 70 м. Увеличение видимости белого диска возрастает при удалении от материкового берега.

Несмотря на указанный выше оптимальный спектральный диапазон для работы под водой, при подводном наблюдении на небольших дальностях (порядка нескольких метров) непосредственно невооруженным глазом достаточно хорошо передаются все цвета видимой области спектра. В связи с этим для дайвинга, подводной охоты и т. д. могут быть использованы СД-фонари на базе СД белого цвета свечения (рис. 8). Их основные типичные параметры даны в работах [2, 3], а также представлены в таблице 1.

На основе таких светодиодов могут быть выполнены фонари для подводного применения, в частности для дайвинга (рис. 9) [4]. Основные параметры таких фонарей представлены в таблице 2.

Подводные фонари являются необходимой техникой при ночных погружениях, при плавании в отсеках затонувших кораблей, в пещерах и для подсветки при видеосъемке [4]. Для обеспечения безопасности, согласно общепринятым правилам, а также стандартам PADI, аквалангисты берут с собой три фонаря: основной, запасной и проблесковый [4].

Фонари можно использовать и при обычных дневных погружениях, если

нужно увидеть действительный цвет рассматриваемого объекта. Во избежание потери любой подводный фонарь обязательно снабжен шнуром или каким-либо механизмом крепления к руке или к какому-либо элементу снаряжения. Фонари малой мощности и небольшого размера используются в качестве запасных при ночных погружениях. Мощные фонари, работающие на аккумуляторных батареях, нужны для ночных или пещерных погружений, при заходах внутрь затонувших объектов. Аккумуляторные батареи дороже обычных, но дешевле в эксплуатации в течение длительного времени. Они, как правило, обеспечивают

Таблица 3. Основные параметры типичных светодиодов различных цветов свечения для подводного видения (по данным проспектов фирм)

Страна/фирма	Модель	Световой поток, лм/ Световая отдача, лм/Вт	Ø корпуса, мм	Цвет свечения, λ_{max} нм	Сила света, кд		$2\theta_{0,5}$, °	$U_{\text{пр}}$, В	$I_{\text{пр}}$, мА	
					не менее	типичная				
РФ, НПЦ «ОПТЭЛ»	У-118Г		5	3,572 ±2	0,4	0,6	25 ±5	2,8	20/50	
	У-118И		5	3,526 ±3	3	4,5	25 ±5	4	20	
	У-118Т		5	3,505 ±5	3	4,5	25 ±5	4	20	
	У-118ДФ		5	Ж, 590 ±3	3	5	25 ±5	2,5	20	
	У-118С		5	С, 470 ±10	0,65	1	25 ±5	4	20	
	У-114Г		8	3,572 ±2	1	1,5	10 ±5	2,5	20	
	У-114И		8	3,526 ±2	5	10	10 ±5	4	20	
	У-114Т		8	3,505 ±5	5	10	10 ±5	4	20	
	У-114ДФ		8	Ж, 592 ±3	4	6	10 ±5	2,5	20	
	У-114С		8	С, 70 ±10	1,5	2,5	10 ±5	4	20	
	У-164Г		10	3,572 ±2	4	7	4 ±1	2,2	20	
	У-164И		10	3,526 ±2	10	20	4 ±1	4	20	
	У-164Т		10	3,505 ±2	10	20	4 ±1	4	20	
	У-164ДФ		10	Ж, 592 ±3	7	9	4 ±1	2,6	20	
	У-164С		10	С, 470 ±10	2,5	3	4 ±1	4	20	
	У-156А				3,525 ±5	35	40	20 ±5	4	125
	У-156А				С, 455 ±5	3,0	4	20 ±5	4	125
	У-150А				3,525 ±5	110	125	25 ±5	4	350
	У-150А				С, 455 ±5	10,0	13	25 ±5	4	350
	У-266ДУ	25–30/33			Ж, 590 ±3	30	50	45 ±10	2,6	350
	У-190Дк	25–30/33			Ж, 590 ±3	180	220	8 ±3	2,6	350
У-345Дк-9	20–30/33			Ж, 590 ±3	550	900	7 ±3	2,6	350	
У-266И	50–65/50			3,525 ±5	60	80	40 ±5	4	350	
У-190И	40–50/40			3,525 ±5	300	350	8 ±5	4	350	
У-345И-2	50–60/46			3,525 ±5	100	180	45 ±10	4	350	
У-345И-Э	40–50/37			3,525 ±5	800	1300	7 ±3	4	350	
У-144И	30–40/33			3,525 ±5	150	200	20 ±5	4	350	
У-130Ф-И	90–100/85			3,525 ±5	25	30	120	3,5	350	
У-133Ф-И	240–260/75			3,525 ±5	70	80	120	3,5	300	
Тайвань, Kingbright Electronic Co., Ltd.	L-7104 VGC-E		3,2	3,525	1,5	2	34		20/–	
	L-934 VGC-E		3,2	3,525	1,5	2	50		20/–	
	L-7113 VGC-E		5,9	3,525	2,8	4,5	20		20/–	
Германия, Hewlett Packard	HLMP-EL10-VY000		5	Ж, 590	3,6	13,8	6		20/–	
	HLMP-CM08-X1000		5	3,526	6,2	24,5	6		20/–	
	HLMP-CE08-WZ000		5	С–3,505	4,7	18,4	6		20/–	
	HLMP-CB08-RU000		5	С, 472	1,3	1,8	6		20/–	

Примечания. 1. 3 — зеленый цвет свечения, Ж — желтый, С — синий, С-3 — сине-зеленый. 2. I_{max} — длина волны излучения в максимуме интенсивности, $2\theta_{0,5}$ — угол расходимости излучения на уровне половинной его интенсивности, $U_{\text{пр}}$ — напряжение питания в прямом направлении, $I_{\text{пр}}$ — ток питания в прямом направлении рабочий.

большой, более равномерный уровень света, но в течение короткого периода. Также следует учесть, что мощный аккумулятор требует длительной зарядки. Как только зарядка фонарей в основном использована, свет, который они обеспечивают, стремительно угасает. Фонари, работающие на перезаряжаемых батареях, действуют дольше, но по мере истощения их заряда свет, который они обеспечивают, уменьшается постепенно. Если необходимо обеспечивать освещение подводной видеосъемки, то нужен сильный аккумуляторный фонарь с креплением для фиксации на видеокамере. Для ночного погружения водолазы также применяют мини-фонари, использующие активированный химический огонь, или с мигающим светом, как проблесковый маячок, прикрепляемый к первой ступени регулятора или к компенсатору плавучести [4].

Характерным примером светодиодного фонаря для дайвинга является модель Led Lenser D14 [5]. Корпус яркого цвета виден достаточно далеко, если фонарь уронили. Включать и выключать фонарь

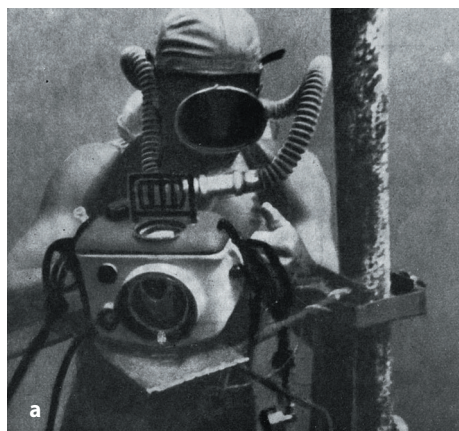


Рис. 9. Применение СД-фонарей: а) для дайвинга; б) для подводной охоты

очень удобно даже в перчатках благодаря магнитной кнопке. Фонарь работает от четырех пальчиковых батарей. Как и во всех фонарях Led Lenser, оптическая система D14 формирует ровный пучок света без темных и светлых пятен. Фонарь удобен для использования в перчатках, имеет петлю для фиксации на кисти руки. Корпус изготавливается из высокопрочного авиационного алюминия, а линзы — из специального пластика, поэтому фонарь устойчив к перепадам температуры и остается прозрачным на протяжении всего срока эксплуатации. Все электрические контакты позолочены — они не окисля-



Рис. 10. Налобные подводные СД-фонари: а) P-XL-6-T6; б) T6 силикагель; в) LED HEAD LIGHT Waterflash LED 536

ются при высокой влажности или просто со временем. Представляют интерес сигнально-стробоскопический фонарь Princeton Tec AQUA STROBE ROCKET RED [6] и сигнально-осветительный фонарь Princeton Tec ECO FLARE ROCKET RED [7]. Глубина погружения составляет



Рис. 11. Малогабаритные удерживаемые в руке СД подводные фонари для дайверов: а) «Сарган Филин 220» для подводного ориентирования; б) «Сарган Филин» подводный; в) Sofirn S8104 6000 лм; г) ручная подвеска для крепления СД-фонаря на кисти руки

Таблица 4. Основные параметры типичных подводных фонарей на основе СД различных цветов свечения

Страна/Фирма	Модель	Цвет свечения, λ_{max} нм	Сила света, мкд		Световой поток, лм	$2\theta_{0,5^\circ}$	Габариты, мм	U, В // I _{нрр} , мА
			не менее	типичная				
РФ, НПЦ «ОПТЭЛ»	ФСДО-Д	Ж, 0,589–0,595	1200	1500	25	5 ± 1	Ø142×170	–
	ФСДО-И	З, 0,5–0,53	700	900	15	5 ± 1	Ø142×170	–
	ФСДО-С	С, 0,465–0,475	300	400	10	5 ± 1	Ø142×170	–
	У266Д-1	Ж, 592 ± 2	27–45	40	15–19	35 ± 5	Ø8,5×8,5	2,5/400
	У332Д-1	Ж, 592 ± 2	55–65	60	25–35	45 ± 5	Ø16×26,5	8,5/200
	У-266И	З, 525 ± 5	17–23	20	10–15	40 ± 5	Ø8,5×8,5	4,0/350
	У-266Т	С-З, 515 ± 5	15–20	17	23–28	40 ± 5	Ø8,5×8,5	4,0/350
	У-266С	С, 470 ± 5	4–6	5	3–4	40 ± 5	Ø8,5×8,5	4,0/350
Тайвань, Kingbright Electronic Co.	BLF041 MGG-6V-P	З, 568	300	800		30	Ø5,5×15,5	6/–
	BLB101 MGG-6V-P	З, 568	400	900		20	Ø11,2×28,9	6/–
	BLFA 054 MGCK-6V	З, 570	180	460		120	Ø5,5×12,4	6/–
Германия, Hewlett Packard	HPWL-BL01	Ж, 594			10			3,09/250
Тайвань, Kingbright Electronic Co.	BL0508-09-73	З, 568	420	800		40	22×22×42	–/40
	BL0709-1876	З, 568	720	1200		40	28×28×43	–/40
	BL104-2172	З, 568	560	1200		40	Ø26×39	–/40
	BL102-1434	З, 568	800	1200		40	Ø26×39	–/40

100 м. Для первого фонаря $F = 1,67$ Гц, напряжение питания 1,5 В, масса 96 г, время непрерывной работы 8 ч. Для второго фонаря используются белый и красный светодиоды, световой поток 10 лм, напряжение питания 3 В, масса 42 г, время работы 500 ч.

Для реализации возможностей оптимального рабочего спектрального диапазона для подводного видения фонари могут быть использованы на базе СД зеленого, реже — голубого цвета свечения. Для работы в мутной воде могут быть ис-

пользованы СД-фонари желтого цвета свечения. Основные параметры типичных СД указанных цветов свечения представлены в таблице 3, а фонарей на их основе для подводного видения — в таблице 4. На рис. 10–15 показаны типичные фонари для подводной охоты и дайвинга, а также особенности их применения.

Характерным примером подводного аккумуляторного светодиодного фонаря, который может работать в белой и синезеленой области спектра, служит модель «Экотон-8» фирмы «Экотон» [8]. Фонарь



Рис. 13. Мощные СД подводные фонари для дайвинга: а) Light and Motion Sola Dive 2500 S.F. Diving; б) Light and Motion Sola 1200 S.F. Dive Light; в) Powerful-led-diving-flashlight-6000 lumens-underwater



Рис. 12. СД подводные фонари для дайверов и для подводной охоты: а) D170-CREE-XHP 70-4000; б) «Сарган Беркут», 700 лм; в) «Сарган Ирбис», 2100 лм

предназначен для подводной работы в соленых и пресных водоемах на морских и речных судах, для дайвинга, спортивной подводной охоты и для боевых пловцов. Фонарь имеет взрывозащищенное исполнение и герметичную неразборную оболочку, выполненную из ударопрочного материала. Источник света — СД белого или сине-зеленого свечения (по заказу). Для формирования луча используется линза из поликарбоната, изготовленная методом полимеризации с добавлением в расплавленный поликарбонат специальных добавок-отвердителей. Источник питания — герметичная Li-ion-батарея. Включение фонаря осуществляется поворотным кольцом со встроенным магнитом и герконом. Диапазон рабочих температур $-20 \dots +40$ °С. Подзарядка аккумуляторной батареи производится с помощью зарядных адаптеров от сети ~ 220 В/50 Гц или бортового питания 12/24 В. Для более надежной герметичности резиновой прокладки рекомендуется использовать силиконовую смазку (типа Special silicone grease TECHNISUB). Данный тип смазки применяется при каждом погружении в воду.



Рис. 14. Подводные ружья с СД подводными фонарями: а) «Оса-600» с СД-фонарем HunterOroLight-3; б) комплект для подводной охоты с ружьем «Сарган» и СД-фонарем; в) крепление СД-фонаря Patriot VH-fl08 на подводном ружье «Сарган»; г) универсальное крепление СД подводного фонаря на ружье «Сарган»

Таблица 5. Основные параметры СД подводных фонарей фирмы ARCHON, Китай

№ п/п	Модель	Ф, лм	Тип СД	Тип аккумулятора/U, В	Глубина погружения, м/ударостойкость, м	Режим работы	Время работы	Масса, г/габариты, мм	Примечания
1	Dive 340	340/-	CREE XP-GRS	2×CR123 (RCR123), 18650/3-6 В	100/1,5	Макс./ Мин./ Строб	1 ч 50 мин/ 10 ч/148 мин	260/50×23×148	Рефлектор из алюминиевого сплава Т6, линза из закаленного стекла
2	Dive 650	650/-	CREE XM-LU2	6×AA/2,8-10 В	100/1,5	Макс./ Мин./ Строб	2 ч/4 ч/2,5 ч	690/65×36×208	
3	Dive 860	860/-	CREE XM-LU2	2×CR123 (RCR123), 18650/3-6 В	100/-	Макс./ Мин./ Строб	1210 м/8 ч/2,5 ч	260/50×23×148	Угол подсвета 6–110°
4	Dive 1000	1000/-	CREE XM-LU2	4×CR123 (RCR123), 2×18650/3-6 В	100/-	Макс./ Мин./ Строб	1 ч 50м/7 ч/4 ч 20 м	480/60×24,5×229	
5	Dive 1400 red	1400 + 200/-	CREE XM-LT6 + 2×CREE XP-EN3	1×32650/2,8-4,8 В	100/1,5	Макс./ Мин./ Красный	2 ч/4 ч/2,5 ч	430/60×28×133	
6	Flash 1000	1000	CREE XM-LT6	1×26650/6-10 В	100/-	Макс./ Мин./ Строб	4 ч/7 ч/6 ч	510/60×32×200	Угол подсвета 60°. Корпус из алюминиевого сплава Т6061 высшей твердости (Type III)
7	Flash 7000 red	7000 + 400	12×CREE XM-L2U2 + 4×CREE XP-EN3	6×18650	100/-	Макс./Средний/ Мин./красный	1,5 ч/3 ч/ 5 ч/8 ч	1140/ Ø78×202,5	
8	Hunt 3000	3000/-	3×CREE XM-LT6	3×26650, 4000 мАч	100/-	Макс./ Мин./ Строб	4,5/9/6	1000/82 32×295	
9	Hunt 5000	5000/-	6×CREE XM-L2U2	6×18650	100/-	Макс./ Мин./ Строб	2 ч/4 ч/13 ч	1220/ Ø78×213,5	
10	Mini 860	860/-	CREE XM-LU2	2×CR123 (RCR123), 18650	100/-	Макс.	1 ч 10 м	165/ 29×24×145	
11	Technical 1000	1000/-	CREE XM-LU2	2×26650/6-10 В	100/1,5	Макс./ Мин./ Строб	3,5 ч/6 ч/5 ч	695/ Ø46×70 (головка) Ø36×166 (тубус)	
12	Technical 3000	3000	3×CREE XM-LU2	3×26650 4000 мАч	100/1,5	Макс./ Мин./ Строб	3,5 ч/7 ч/5 ч		Угол подсвета 60°. Корпус из алюминиевого сплава Т6061 высшей твердости (Type III)
13	Magic Shine MJ-876	1200	SST-50	6×18650 6600 мАч	100/-	1200 лм/600 лм/ 300 лм	2 ч 42 м мин		Трехцветный
14	Magic Shine MJ-878	2200	SST-90	2×18650	100/-	2200 лм/1100 лм/ 550 лм/SOS	2 ч		Диаметр контроратора 66 мм. Срок службы 5×10 ⁴ ч

Примечание. Ф — световой поток, U — напряжение питания, ударостойкость: выдерживает падение с высоты, например, 1 или 1,5 м. Класс защиты IPX-68.



Рис. 15. Внешний вид СД подводных фонарей в подводном положении:
 а) Underwater 6000 LM T6 LED; б) NEW Waterproof 3x T6 LED Sauba Diving Flashlight; в) Nova XM-L200

Таблица 6. Основные параметры СД подводных фонарей различных фирм

№ п/п	Страна/фирма	Модель	Ф, лм	Тип СД	Тип аккумулятора/ U, В	Глубина погружения, м/ ударостойкость, м	Режим работы, мощность	Время работы	Масса, г/габариты, мм	Примечания
1	Китай/Сарган	Сарган Ирбис		CREE U2-3	1×18650	60	100% 50% 20%		394/Ø38×200 (Ø60 — головка)	Срок службы 5×10 ⁴ ч, угол охвата 60°, свет белый или желтый.
2	Китай/Сарган	Сарган Беркут 700	700	CREE U2-3	1×18650	60	100% 50% 20%	70 мин 110 мин 240 мин	~Ø43×165	Подвешивается на запястье, энергопотребление 10 Вт, свет холодный белый
3	Китай/XP	D170 XP50	2500	CREE XH50P	2×26650 или 2×18650	50				Время непрерывной работы 4 ч (средняя мощность), 8 ч (малая мощность), свет белый.
4	Китай/Sunguan	Sunguan 3000	3000	CREE XM-LT6 LED	~12 В	100			~Ø50×130	Корпус из алюминиевого сплава 6061-T6
5	Япония/SOLA	SOLA 1200 S/F	1200		2×26650/4 В	90	Макс. 1200 лм Средняя 600 лм Мин. 300 лм	70 мин 140 мин 220 мин	254/ Ø56×104	
6	Япония/SOLA	SOLA Dive 2500 S/F	2500			100	Макс. Средняя Мин.	50 мин; 100 мин; 200 мин	254/53,3×53,3×101,6	Угол охвата 60 или 12°
7	Япония/SOLA	SOLA Night Sea	3000	CREE	1×26650	120	Макс. Средняя Мин.	70 мин; 60 мин; 50 мин	254/-	Угол охвата 60 или 12°
8	Япония/Senba	NEW Waterproof 3×T6 LED Senba Driving Flashlight	6500	2×СД	2×18650	140			~Ø48×30×200	
9	Китай/XP	Налобный фонарь P-XL-6-T6		XMLT6	1×18650 или 3×AAA	20	Средняя Эконом. SOS		150/65×73×42	Дальность подсвета 140–200 м, энергопотребление 3,7 Вт, свет белый
10	Китай/XP	Налобный фонарь LED HEAD Ulyraflash LED530II258			~4 В	20			200/-	Свинцово-кислотный аккумулятор, емкость 0,4 А·ч, свет холодный белый
11	Китай/XP	Налобный фонарь силикагель T6	5000			66	5000 лм 180 лм 60 лм 15 лм 2 лм SOS		49,5/21×21×58,5	Корпус выполнен из алюминиевого сплава T6061-T6, срок службы 5×10 ⁴ ч, угол охвата 30°, ударопрочность — падение с высоты 1,5 м
12	Китай/Go Be	Go Be 500 Search	500		1×18650	120	500 лм 70 лм SOS	2,2 ч 12 ч	100/-	Угол подсвета 8°
13	Китай/Go Be	Go Be 700 Wide	700		1×18650	120	700 лм 325 лм 100 лм	1,5 ч; 3 ч; 12 ч	160/-	Угол подсвета 60°
14	США, Китай/ Light and Motion	Light and Motion Go Be S500 Spot FC	1120		3×18650	500	Макс. Средн. Мин. SOS	90 мин 180 мин 720 мин	172/48,3×48,3×124,5	Герметизация по стандарту FL-1
15	США, Китай/ Light and Motion	Light and Motion Go Be S500 Spot Magenta	500		1×18650	120	Макс. Средн. Мин. SOS	1,5 ч 3 ч 12 ч	~Ø48,2×125	Угол подсвета 20°
16	США, Китай/ Light and Motion	Light and Motion Go Be 800 Spot FC	800		1×18650	120	Макс. Средн. Мин. Эконом. SOS	90 мин 180 мин 720 мин 1440 мин 2160 мин	178/48×48×124	Угол подсвета 12°
17	США, Китай/ Light and Motion	Light and Motion Go Be 1000 Wide	1000		1×18650	120	Макс. Средн. Мин. Эконом. SOS	70 мин 180 мин 720 мин 1440 мин 2160 мин	250/48×48×125	Угол охвата 60 или 12°
18	США, Китай/ Light and Motion									

Примечания. См. таблицу 5.

В таблице 5 представлены основные параметры СД подводных фонарей фирмы ARCHON, Китай, а в таблице 6 указаны основные параметры СД подводных фонарей других фирм.

Таким образом, как мы видим, функционал подводных СД-фонарей достаточно разнообразен и позволяет применять их в различных сферах — как для подводной охоты и дайвинга, так и для широкого диапазона подводных работ различного типа. ●

Литература

1. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009.
2. Волков В. Г. Светодиодные излучатели для оружейных фонарей // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
3. Рогов А. А. Фотосъемки под водой. М.: Наука, 1964.
4. Оптические свойства водной среды и законы распространения в ней света. Istoriya-foto.ru
5. Светодиоды широкого применения. Продукция НПЦ «ОПТЭЛ». www.optelcenter.ru.
6. Мощные светодиоды Cree. Каталог фирмы «Компэл». М., 2012.
7. Фонари для дайвинга. 2023. DivingCenter.ru/134.htm.
8. Фонарь светодиодный для дайвинга LED Lenser D14. Проспект фирмы Sporasub, США, 2012.
9. Светодиодный фонарь для подводной охоты и дайвинга. Princeton Tec AQUA STROBE ROCKET RED 2022.
10. Светодиодный фонарь для подводной охоты и дайвинга. Princeton Tec ECO FLARE ROCKET RED. 2022.
11. Фонарь подводный аккумуляторный светодиодный «Экотон-8». Проспект фирмы «Экотон», 2022. www.ecoton.ru
12. Профессиональное водолазное снаряжение и подводное оборудование. Каталог фирмы «Тетис-Про». М., 2021.