

Виктор Волков, д. т. н., академик РАЕН, профессор | volkvik2009@yandex.ru

# Оптические передающие модули

на основе полупроводниковых излучателей  
для волоконно-оптических линий связи

**Рассматриваются оптические передающие модули на основе полупроводниковых светодиодных и лазерных излучателей для их применения в волоконно-оптических линиях связи. Описываются конкретные модели оптических передающих модулей, приводятся основные параметры указанных изделий.**

В настоящее время волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) приобрели очень широкое распространение. Об их характеристиках и применении достаточно подробно сообщалось в работах [1–3]. По сравнению с традиционными электрическими проводными линиями связи ВОЛС обладают рядом существенных преимуществ [2]:

- широкая полоса пропускания, позволяющая передавать цифровые агрегатные потоки емкостью (скоростью) до нескольких десятков Тбит/с;
- низкий уровень затухания сигнала при распространении, позволяющий передавать сигналы без регенерации на расстояния до 640 км;
- нечувствительность к электромагнитным помехам, позволяющая прокладывать волоконно-оптические кабели в местах с высоким уровнем таких помех, в том числе использовать для этой цели ЛЭП и опоры контактной силовой сети железных дорог;
- практическое отсутствие собственных электромагнитных помех, позволяющее снять проблему совместимости ВОЛС и других систем связи;
- возможность использования полностью диэлектрического исполнения волоконно-оптического кабеля, позволяющая снять проблему защиты от грозы, блуждающих токов, коррозии, а следовательно, повысить срок службы;
- малые масса и габариты ВОЛС;
- пожаробезопасность;
- значительная сложность перехвата передаваемых сообщений;
- сравнительно низкая стоимость по сравнению с высокими ценами на медный кабель.

Для передачи сообщений в ВОЛС используются оптические передающие модули. Они могут быть выполнены на основе полупроводниковых инжекционных лазеров, светодиодов или суперлюминесцентных светодиодов. На рис. 1 показана схема модуля на основе полоскового полупроводникового лазерного излучателя [1, 4]. Модульная структура создает условия для того, чтобы такой излучатель 1 мог быть легко стыкован с ВОЛС. Современные модули выпускаются в металлическом корпусе, в котором на одной подложке находятся собственно лазерный диод 1, фотодиод 2 и терморезистор 7. Вся подложка расположена, в свою очередь, на микрохолодильнике, в качестве которого используется термоэлектрическая система охлаждения (ТЭО) 6 на основе эффекта Пельтье. Фотодиод 2 располагается за задней гранью излучающего кристалла лазерного диода 1, из которой также выходит его излучение. Чтобы фоточувствительная поверхность фотодиода 2 не служила отражателем, он расположен наклонно. Назначение фотодиода 2 — обеспечение отрицательной обратной связи в электронной схеме накачки (драйвере) 3 лазерного диода 1. Назначение обратной связи — стабилизация выходной мощности излучения путем автоматической регулировки тока накачки. Однако такая регулировка не обеспечивает стабилизацию длины волны

излучения в процессе изменения температуры окружающей среды. Для ее стабилизации служат ТЭО 6 и терморезистор 7. Последний включен в цепь обратной связи электронной схемы регулировки тока ТЭО 6. Оптическое согласование осуществляется в модуле, т. е. короткий соединительный световод 5 (одномодовое оптическое волокно) оптимальным образом стыкуется с излучающей поверхностью лазерного диода 1 (при условии юстировки положения световода) и выводится из корпуса модуля, не нарушая его герметичности. Для обеспечения стыковки световода 5 с излучающей поверхностью лазерного диода 1 используется устройство ввода излучения (устройство юстировки) 4 в световод 5. Входной торец световода 5 вместе с устройством юстировки 4, лазерным диодом 1 и фотодиодом 2 расположены на указанной выше подложке. Это сделано для того, чтобы исключить уменьшение вводимой в световод 5 мощности излучения за счет разъюстировки входного торца световода 5 относительно выходной грани кристалла лазерного диода 1 при изменении температуры. Лазерный диод 1 запускается током накачки с выхода драйвера 3 (блока накачки). Свободный конец световода 5 стыкуется со световодом волоконно-оптического кабеля с помощью соответствующего волоконно-оптического разъема (на рис. 1 не показан).

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента ослабления излучения в волоконном световоде от длины волны. Как показывает график, одномодовое стандартное оптическое волокно имеет сравнительно небольшие потери: 0,3–0,35 дБ/км в области спектра 1280–1330 нм и еще меньшие до 0,15 дБ/км — в области спектра 1530–1560 нм. Исторически первым рабочим диапазоном, в котором работали первые ВОЛС, была область спектра 780–860 нм. В ней потери доходили до 2 дБ/км. Это было так называемое первое окно



**Рис. 1.** Блок-схема оптического лазерного передающего модуля: 1 — полупроводниковый лазерный излучатель; 2 — фотодиод обратной связи; 3 — драйвер; 4 — устройство ввода лазерного излучения в волоконный световод; 5 — волоконный световод; 6 — ТЭО; 7 — терморезистор; 8 — автоматический регулятор температуры

прозрачности, освоенное в ВОЛС. По мере совершенствования технологии ВОЛС был освоен диапазон 1280–1330 нм (второе окно прозрачности), а затем и третий диапазон: 1530–1560 нм (третье окно прозрачности). В настоящее время разработаны фотоприемные модули, позволяющие освоить еще и четвертый диапазон 1580–1650 нм (четвертое окно прозрачности). Из графика рис. 2 видно, что, начиная с длин волн приблизительно 1650 нм, потери увеличиваются вследствие тепловых эффектов.

Соответственно этим окнам прозрачности в ВОЛС используются полупроводниковые излучатели с длиной волны около 1300, 1550, редко — 850 нм.

На рис. 3 показан типичный внешний вид высокочастотного лазерного модуля, предназначенного для применения в аналоговых и цифровых ВОЛС. Конструктивно модуль выполнен в прямоугольном корпусе с 8 электрическими выводами, ВЧ электрическим соединителем СРГ-50-751ФВ, кабельным одномодовым волоконным выходом, оканчивающимся оптическим разъемом типа АС/АРС с малым уровнем обратного отражения излучения. В состав модуля входит фотодиод обратной связи, ТЭО, терморезистор, используемые для стабилизации оптических и электрических параметров лазерного диода, ВЧ плата согласования (50 Ом входной импеданс) для передачи информационного сигнала от электрического ВЧ-соединителя к лазерному диоду с узлом развязки по постоянной и по переменной составляющим тока накачки лазерного диода. Нароботка на отказ составляет не менее  $5 \times 10^4$  ч, диапазон рабочих температур  $-40 \dots +60$  °С. На рис. 4 показан чертеж общего вида этого модуля.

На рис. 5 представлены типичные спектральная, ватт-амперная характеристики лазерного модуля, а также зависимость относительной мощности его излучения от температуры. Передающие оптические модули (ПОМ) чаще всего изготавливаются в конструкции типа DIL или Butterfly [2]. Унифицированные корпуса модулей совместимы с международными стандартами. Ресурс работы модулей может достигать  $5 \times 10^5$  ч, диапазон рабочих температур  $-40(-60) \dots +55(+85)$  °С.

В таблицах 1, 2 приведены основные технические характеристики типичных лазерных передающих модулей.

Светодиоды также нашли применение в ВОЛС, но сравнительно небольшой длины (офисные — до 2 км, короткие секции — до 15 км). Они могут иметь рабочую длину волны 850 нм или 1300–1550 нм. Светодиоды в коротких ВОЛС, по сравнению с полупроводниковыми лазерными излучателями, имеют ряд преимуществ [2]:

- они не вызывают появления дополнительных ошибок, обусловленных перегрузкой приемных фотодиодов из-за большой мощности излучения;
- светодиоды нечувствительны к неоднородностям ВОЛС и не требуют применения оптических изоляторов для подавления паразитных оптических отражений;
- беспороговый характер мощности излучения не требует жесткой стабилизации температурного и электрического режима работы;
- светодиоды не подвержены катастрофической деградации, характерной для лазерных полупроводниковых излучателей даже при кратковременных токовых перегрузках.

При больших мощностях возбуждения в светодиодах наблюдается эффект усиления света, которое приводит к изменению спектрального состава люминесценции, ее яркости и др. Такие светодиоды называются суперлюминесцентными. Основные характеристики обычных и суперлюминесцентных светодиодов для применения в излучающих модулях ВОЛС представлены в таблице 3. Передающие модули размещены либо в корпусах типа mini-DIL (2×4) со штырьками, либо в металлоглазанных корпусах DIL-14 (2×7) с вертикально расположенными штырьками. Вывод



Рис. 3. Внешний вид высокочастотного лазерного модуля ДМПО131-23

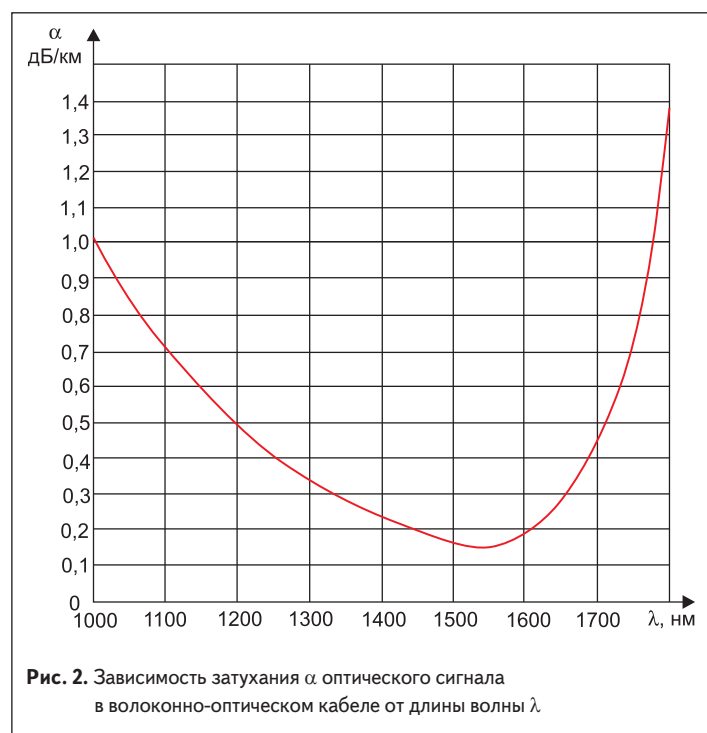


Рис. 2. Зависимость затухания  $\alpha$  оптического сигнала в волоконно-оптическом кабеле от длины волны  $\lambda$

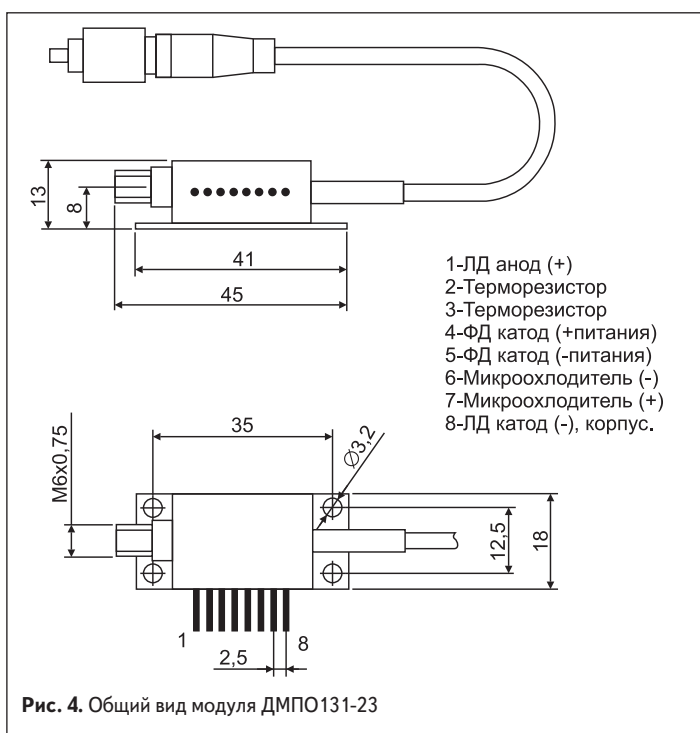
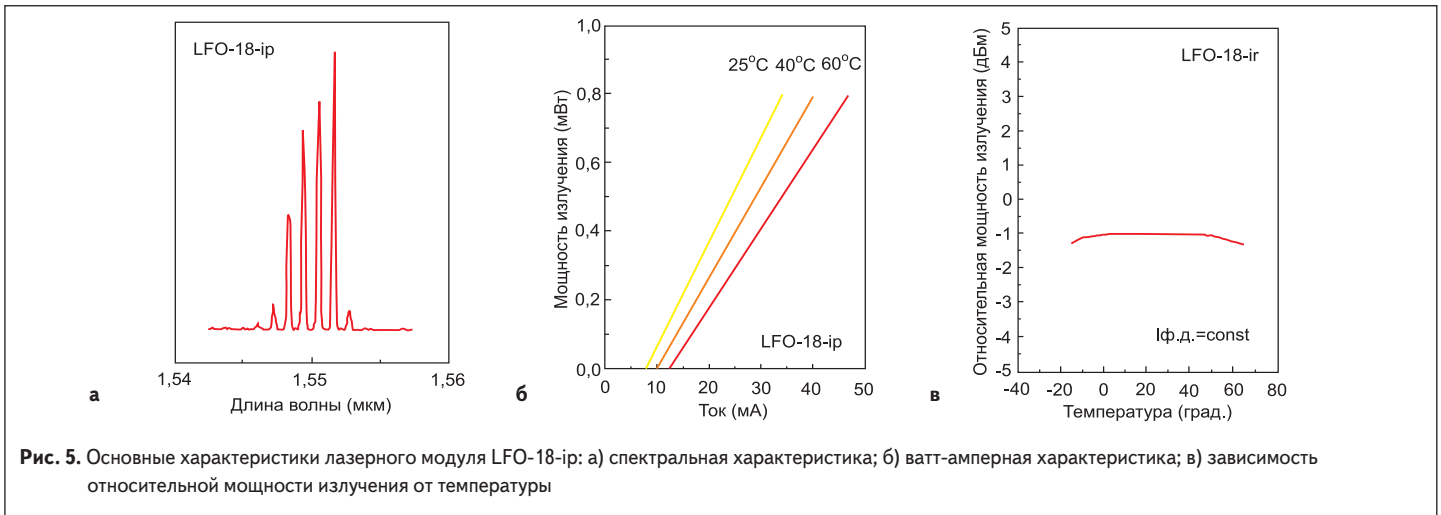


Рис. 4. Общий вид модуля ДМПО131-23



**Таблица 1.** Основные технические характеристики оптических лазерных передающих модулей с длиной волны 1300 нм для ВОЛС (по данным проспектов фирм)

Фирма	Модель	$\lambda, \text{нм}/\Delta\lambda$	$P_{\text{из}}, \text{мВт}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{р}}, \text{мА}$	$U_{\text{лд}}/U_{\text{фд}}, \text{В}$	$I_{\text{фд}}/I_{\text{тзо}}, \text{мА}$	$V_{\text{п}}, \text{Мбит/с}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$				
НПП «ТЕЛАМ»	ТПМ-130А	1310±20/3	1,5–2,0	20±5/65	1,6±0,2/5	60/100	560	–10...+60				
	ТПМ-130АМ		3,0	25±5/85	1,5–2,2/5	100/300						
	ТПМ-130В		1,0	20±5/60	1,5±0,3/5	60/300						
	ТПМ-130С		1,0	15–30/40								
	ТПМ-130D		0,5	10–25/45								
	ТПМ-130М	1310±20/4	3,5	25±5/60	1,5±0,3/5	100/6/ТЭО			–40...+20			
	ТПМ-130	1310±20/3	5,0	35/65	1,6–1,8/5	60/6/ТЭО				–20...+60		
	ТПК-130	1310±20/2,5	1–2	20/45	1,6–1,8/5	80/6/ТЭО				–40...+60		
ТДЛ-130	1310±20/2,5	5,0	30/60	1,6–1,8/5	80/6/ТЭО							
НПФ «Диалаз»	ДМПО131-23	1310±30/6	9,0	–/90	–/5	20/1000						
ОАО «НОВОТЕХ»	РОМ-14-2К	1310±30/3	1,5	12/25	1,3/5	100/–	2500	–60...+85				
	РОМ-1310			50/150	1,5/5	80/1400		–40...+60				
	РОМ-22-FBG			1310±40/3	5–20	40–60/150–200		2/5	40/1200	–60...+60		
	РОМ-17	1300±30/3	3	20/40	1,3–1,7/5	150/560		–40...+85				
	РОМ-14-10	1300	5–10	20–30/100–150								
	РОМ-14-20		10–20	30–40/150–300								
РОМ-14-50	20–50		30–40/300–500									
НИИ «Полюс»	РОМ-14	1300/3	1,5–10	30/40–100		50–2000/–		–40...+50				
	РОМ-17	1300/8	3–10			50–2000/34						
«ФТИ-Оптроник»	LFO-14/2-i	1310/1	2,0	–/30 <15/<40	1,1/–	100/350 (<6,5 В)	622	–40...+55				
	LFO-14-i	1280–1340/5	1,0									
	LFO-17-i		2,0									
	LFO-14-ip		1,0									
	LFO-17-ip		2,0									
	LFO-14-ir		1,0									
	LFO-17-ir		2,0									
	РТ-3363	1310±20/–	1,0		6/18				1,1–1,8/5	200/–	1250	–40...+60
	LFO-14/2-ip	1310±20/2,5	2,0		5/20				1,1–1,5/5	500/–	622	–40...+55
	LFO-14/4-ip		4,0		5/35				1,1–1,5/5	950/–		
LFO-14/4-i												
АО «ТЕЛАЗ»	ПОМ-514, ПОМ-518	1250–1350	1,0	–/70	1,8/5	20/500	300					
	ПОМ-561	1250–1350	2,0	18/60	1,8/5	100/–	622					
	ПОМ-664			–/180	4,5–5,5/–		34					
	ПОМ-660						155					

**Примечания:**  $\lambda$  – рабочая длина волны;  $\Delta\lambda$  – полуширина спектра излучения;  $P_{\text{из}}$  – мощность излучения;  $I_{\text{п}}$  – пороговый ток;  $I_{\text{р}}$  – рабочий ток;  $U_{\text{лд}}$  – напряжение на лазерном диоде;  $U_{\text{фд}}$  – напряжение на фотодиоде;  $I_{\text{фд}}$  – ток фотодиода;  $I_{\text{тзо}}$  – ток ТЭО;  $V_{\text{п}}$  – скорость передачи информации;  $\Delta T$  – диапазон рабочих температур.

**Таблица 2.** Основные технические характеристики оптических лазерных передающих модулей с длиной волны 1550 нм для ВОЛС (по данным проспектов фирм)

Фирма	Модель	$\lambda, \text{ нм}/\Delta\lambda$	$P_{\text{из}}, \text{ мВт}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{р}}, \text{ мА}$	$U_{\text{ла}}/U_{\text{фд}}, \text{ В}$	$I_{\text{фд}}/I_{\text{тзо}}, \text{ мА}$	$V_{\text{п}}, \text{ Мбит/с}$	$\Delta T, \text{ }^\circ\text{C}$
НПП «ТЕЛАМ»	ТЛР-150	1550±20/3	0,7	30/65	1,5±0,3/5	60/—	560	-10...+60
	ТПМ-130АМ		1,5			60/300		
	ТПМ-150АМ		2,0	30/80	1,5-2,2/5	350/300		
	ТПМ-130В		1,0	30/60	1,5±0,3/5	60/300		
	ТПМ-130С			30/55		60/6/ТЭО		
ОАО «НОВОТЕХ»	РОМ-1555	1530-1555/3	10	-/200	1,3-2/5	400/800	2500	-40...+70
	РОМ-23FBG	1540±30/3	5-10	20-50/150-300	1,7/5	40/1400		-40...+60
	РОМ-22-FBG	1650/1	1-2	20-40/150-250		≥40/1500		
	РОМ-18-2К	1510-1570/3	1-2	15-30/40-60	1,2-1,4/5	100/—	2500	-60...+85
	РОМ-18-1	1550/—	5-10	20-30/100-150				
	РОМ-18-5		2-5	15-30/160-150				
	РОМ-18-10		5-10	20-40/100-300				
РОМ-18-30	20-30		20-40/300-500					
НИИ «Полюс»	РОМ-18	1550/3	1,5	20/60		50-2000/—		-40...+50
«ФТИ-Оптроник»	LFO-18/2-i	1550/1	2,0	-/35 <15/<40	1,1/—		622	-40...+55
	LFO-18-i	1520-1580/5	1,0		<1,6/5	100/350 (<6,5 В)		
	LFO-18-ip							
	LFO-14-ir							
	PT-3563				1,2-1,8/5	200/—	1250	
	LFO-18-tp	1510-1590/5	1,0	12/35	1,2-1,5/5	300/—	1250	
	LFO-18-t						622	
	LFO-18/2-ip	1550±30/2,5	2,0	10/30	1,1-1,5/5	500/—	1250	
	LFO-18/2-i	1550±30/3					622	
LFO-18/4-ip	4,0						10/45	
АО «ТЕЛАЗ»	ПОМ-518	1470-1570	1,0	-/70	1,8/5	20/500	300	
	ПОМ-571			20/80		622		
	ПОМ-664		2,0	-/180	4,5-5,5/—	100/—	34	
	ПОМ-660						155	

**Примечания:**  $\lambda$  – рабочая длина волны;  $\Delta\lambda$  – полуширина спектра излучения;  $P_{\text{из}}$  – мощность излучения;  $I_{\text{п}}$  – пороговый ток;  $I_{\text{р}}$  – рабочий ток;  $U_{\text{ла}}$  – напряжение на лазерном диоде;  $U_{\text{фд}}$  – напряжение на фотодиоде;  $I_{\text{фд}}$  – ток фотодиода;  $I_{\text{тзо}}$  – ток ТЭО;  $V_{\text{п}}$  – скорость передачи информации;  $\Delta T$  – диапазон рабочих температур.

**Таблица 3.** Основные технические характеристики оптических передающих модулей на основе суперлюминесцентных диодов и светодиодов для ВОЛС (по данным проспектов фирм)

Фирма	Модель	$\lambda, \text{ нм}/\Delta\lambda$	$P_{\text{из}}, \text{ мВт}$	$I_{\text{р}}, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$I_{\text{фд}}/I_{\text{тзо}}, \text{ мА}$	$V_{\text{п}}, \text{ Мбит/с}$	$\Delta T, \text{ }^\circ\text{C}$
ОАО «НОВОТЕХ»	ССД SLD-830	830±20/30	2	200	1,3-2,0	100-500/1200	50	-40...+70
	ССД SLD-1550	1510-1560/35		250				
	ССД SLD-1610	1610±/35	20	40	1,3-1,7	50-500/1400		
	СД SLD-1300	1300±50/80						
НИИ «Полюс»	ССД CLD-820	850	0,2	300	2,4		50	-25...+65
	ССД CLD-1300/30	1270-1330	0,4		2,0			-40...+65
	ССД СПМ-50/50М	850	0,2		5,0			
	ССД СПМ-50СТ-2		1,0					
	ССД СПМ-50/50М-2ИК	1300 (1500)	0,02					
ССД СПМ-50СТ-2ИК	0,2							
АО «ТЕЛАЗ»	СД ПОМ-360-1(2)	1250-1350/100	25 (4)	50	1,8		34	
	СД ПОМ-460-1(2)	1250-1350		80	4,5-5,5			
	СД ПОМ-470-1(2)			40				

**Примечания:** СД – светодиод; ССД – суперлюминесцентный светодиод;  $\lambda$  – рабочая длина волны;  $\Delta\lambda$  – полуширина спектра излучения;  $P_{\text{из}}$  – мощность излучения;  $I_{\text{р}}$  – рабочий ток;  $U$  – напряжение на светодиоде;  $I_{\text{фд}}$  – ток фотодиода;  $I_{\text{тзо}}$  – ток ТЭО;  $V_{\text{п}}$  – скорость передачи информации;  $\Delta T$  – диапазон рабочих температур.

**Таблица 4.** Основные технические характеристики оптических лазерных передающих модулей для оптических рефлектометров ( $t_i = 10$  мкс,  $Q = 100$ ) (по данным проспектов фирмы)

Фирма	Модель	$\lambda, \text{нм} / \Delta\lambda$	$P_{\text{имп}} / P_{\text{п}} \text{ мВт}$	$I_{\text{п}} / I_{\text{р имп}} / I_{\text{р п}} \text{ мА}$	$U_{\text{ла}} / U_{\text{фд}} \text{ В}$	$I_{\text{фд}} \text{ мА}$	Диаметр жилы/оболочки, мкм	$\Delta T, \text{С}$
«ФТИ-Оптроник»	LFO-24I-ip	1310±30/7	20/4	5/150/35	1,5–3,5	500	9/125	–40... +55
	LFO-24I-i							
	LFO-24-ip	1310±30/10	80/4,5	10/500/30	3–4,5	500	50/125	
	LFO-27-i							
	LFO-27-ip	1310±30/7	100/5,5	10/150/45	1,5–4,5	500	9/125	
	LFO-27-i							
	LFO-28I-ip	1550±30/7	15/4	20/500/50	3–5	500	9/125	
	LFO-28I-i							
	LFO-28-ip	1550±30/15	60/4,5					
LFO-28-i								

**Примечания:**  $t_i$  – длительность импульса излучения;  $Q$  – скважность;  $\lambda$  – рабочая длина волны;  $\Delta\lambda$  – полуширина спектра излучения;  $P_i$  – мощность излучения;  $I_p$  – пороговый ток;  $I_r$  – рабочий ток;  $U_{\text{ла}}$  – напряжение на лазерном диоде;  $U_{\text{фд}}$  – напряжение на фотодиоде;  $I_{\text{фд}}$  – ток фотодиода;  $I_{\text{тэо}}$  – ток ТЭО;  $V_i$  – скорость передачи информации;  $\Delta T$  – диапазон рабочих температур.

излучения осуществляется через отрезок волоконно-оптического кабеля, на конце которого смонтирован волоконно-оптический разъем.

Для измерения потерь излучения в ВОЛС используются приборы, позволяющие находить не только полные потери в линии связи, но и их распределение, а также коэффициенты отражения вдоль линии. Эти приборы называются оптическими рефлектометрами [5]. Принцип действия прибора основан на посылке в ВОЛС мощного зондирующего импульса излучения, измерении мощности и времени запаздывания импульсов, вернувшихся обратно в рефлектометр. В качестве источника излучения в оптических модулях таких рефлектометров используются полупроводниковые лазерные излучатели, типичные характеристики которых представлены в таблице 4. С помощью таких излучателей генерируются импульсы излучения мощностью 10–1000 мВт, длительностью 2 нс ... 20 мкс и частотой несколько кГц. Эти импульсы поступают через ответвитель на волоконно-оптический разъем, к которому подключается исследуемое волокно ВОЛС. Рассеянные в волокне импульсы излучения возвращаются в оптический модуль и передаются с помощью ответвителя на фотодиод, где они преобразуются в электрический сигнал. Он усиливается, накапливается,

обрабатывается в базовом модуле и отображается на дисплее в графической форме в виде рефлектограммы. Такое представление информации позволяет анализировать ее как визуально, так и автоматически с помощью встроенных программных алгоритмов [5].

## Литература

1. Скляров О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. М.: СОЛОН-Пресс. 2004.
2. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. Сб. статей под ред. Дмитриева С. А. и Слепова Н. Н. М.: ООО «Волоконно-оптическая техника». 2005.
3. Родина О. В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. М.: Горячая линия–Телеком. 2012.
4. Мальке Г., Гёссинг П. Волоконно-оптические кабели. Corning Cable Systems. Новосибирск. ООО «ЛИНГВА – 9». 2001.
5. Листвин А. В., Листвин В. Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРпт. 2005.