

2. Bochkareva T.S., Neganov V.A., Osipov O.V., Sobolev V.A. *Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln* (Electrodynamics and dis-of Radio Waves). Moscow, Radio i svjaz Publ., 2003, 324 p.
3. Neganov V.A., Raevskij S.B., Jarovoj G.P. *Linejnaja makroskopicheskaja jelektrodinamika. T. 1.* (Linear macroscopic electrode Namik. Vol. 1). Moscow, Radio i svjaz Publ., 2000, 509 p.
4. Vinogradova M.B., Rudenko O.V., Suhorukov A.P. *Teorija voln* (Wave Theory). Moscow, Nauka Publ., 1979, 383 p.
5. Kugushev A.M., Golubeva N.S. *Osnovy radiojelektroniki. Linejnye elektromagnitnye processy* (Basics of electronics. (Linear electromagnetic processes)). Moscow, Energiia Publ., 1969, 879 p.
6. Ginzburg V.L. *Rasprostranenie elektromagnitnyh voln v plazme* [Distribution of electronelectromagnetic waves in plasma]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 684 p.
7. Zajcev V.V., Panin D.N., Jarovoj G.P. Komp'juternyj sintez plavnyh soglasujshih perehodov [Computer synthesis of smooth transitions matching]. *Fizika volnovykh processov i radiotekhnicheskie sistemy*, 2002, vol. 5, no. 2, p. 59.
8. Petrov B.M. *Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln* (Electrodynamics and wave propagation). Moscow, Radio i svjaz, 2000, 559 p.

Received 24.12.2014

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315

ЗАЩИТА ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ОБЛЕГЧЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ОТ НАГРУЗОК ЗАМЕРЗАЮЩЕЙ В ЗПТ ВОДЫ

Никулина Т.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: ntg81@list.ru

Предложено для защиты ОК от нагрузок замерзающей в ЗПТ воды использовать демпфирующие элементы в конструкции кабеля или микротрубки, прокладываемые совместно с кабелем в ЗПТ. Выполнен расчет размеров демпферов и микротрубок, для разных сочетаний ОК-ЗПТ.

Ключевые слова: оптический кабель, ЗПТ, микротрубка, демпфер, замерзающая вода.

Введение

На сетях связи в России и за рубежом в настоящее время широко используется технология строительства волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) с использованием защитных полимерных трубопроводов (ЗПТ). При данной технологии в грунт сначала прокладывается ЗПТ, а затем в ЗПТ задувается оптический кабель (ОК). Отличительной особенностью данной технологии является применение при строительстве ВОЛП оптических кабелей «облегченной конструкции», то есть без бронепокровов.

Анализ опыта эксплуатации ВОЛП с оптическим кабелем в ЗПТ показывает, что при повреждении трубопровода и нарушении его герметичности в канал трубопровода попадает вода. В России на большей территории грунт в зимнее время промерзает на глубину прокладки ЗПТ и

более, а это приводит к вмерзанию оптического кабеля в лед, если трубопровод заполнен водой [1-3]. Таким образом, кабель, не имеющий бронепокровов и не рассчитанный на воздействие значительных механических нагрузок, может оказаться в более тяжелых условиях, чем бронированный кабель, проложенный непосредственно в грунт.

С учетом этого возникает вопрос о том, каким образом защитить ОК от возможных нагрузок льда в случае повреждения ЗПТ и попадания в него воды.

Обзор существующих решений

Рассмотрим, какие меры могут быть приняты для защиты ОК от воздействия льда в ЗПТ. Одним из возможных решений может быть использование специального, незамерзающего при низких температурах, геля (IceFree™ Antifreeze Gel),

который применяется на «проблемных» участках ЗПТ [4] (см. рис. 1). Однако данное решение подходит только для случаев, когда проблемный участок заранее известен. Помимо этого, заполнение ЗПТ гелем может привести к сложностям демонтажа старого кабеля, если потребуются задувать в трубопровод вместо уже проложенного ОК новый.

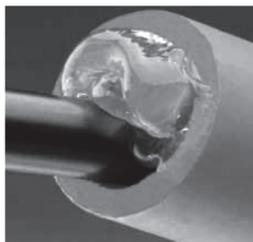


Рис. 1. Применение «IceFree™ Antifreeze Gel» для защиты ОК от льда в ЗПТ

Еще одним возможным решением является использование гидроизоляционных жгутов из пористой резины, которые так же, как и в предыдущем случае, прокладываются в трубопровод вместе с кабелем. Данный метод защиты был предложен сотрудниками КО НИИС [5] для защиты медножильных кабелей в затапливаемой кабельной канализации. При этом резиновые жгуты предложено затягивать в канал вместе с кабелем. Это возможно в случае городской кабельной канализации, поскольку технология строительства предусматривает протяжку кабеля в канал с применением устройства затяжки кабеля (УЗК). Однако в случае с ЗПТ кабель прокладывается не методом затяжки, а методом задувки. Поэтому возникает вопрос о том, можно ли вместе с кабелем задувать резиновые жгуты, и возможно ли это сделать на достаточно протяженных расстояниях (кабель в ЗПТ задувается в среднем на 2 км).

Как видно, оба метода основаны на применении материалов, заполняющих часть внутреннего пространства ЗПТ. Это, во-первых, не дает попасть в канал трубопровода большому количеству воды, а во-вторых, такие элементы могут, сжимаясь, освобождать льду часть объема ЗПТ, тем самым снижая нагрузки на кабель. Однако, оба метода, как было уже отмечено выше, имеют свои недостатки. Чтобы избежать недостатки первых двух методов, по нашему мнению, для защиты ОК в ЗПТ от нагрузок замерзающей воды можно рекомендовать следующие меры.

1. Предпочтение отдавать технологии прокладки ОК в микроотрубках. При задувке кабеля в микроотрубку кабель заполняет микроотрубку не

полностью, между кабелем и стенкой микроотруб- ки остается воздушная прослойка. Микроотруб- ка с кабелем содержится в ЗПТ в герметичном со- стоянии. Таким образом, при повреждении ЗПТ часть свободного пространства в микроотрубке будет выполнять роль демпфера. Помимо этого, наличие в ЗПТ микроотрубок уменьшает объем пространства, которое может быть заполнено во- дой, тем самым снижает давление, создаваемое льдом.

2. В случае применения технологии задувки в ЗПТ не микроотрубок с ОК, а отдельно кабеля, ре- комендуется совместно с оптическим кабелем в ЗПТ прокладывать одну или две полые, содержа- щие герметично микроотруб- ки. В этом случае микроотруб- ки позволят не только снизить влияние раздавливающих нагрузок на ОК, но и обеспе- чить выполнение аварийно-восстановительных работ без проведения дополнительных земляных работ. Даже если кабель окажется замороженным в лед, в микроотрубку на аварийном участке мож- но будет дозадуть микрокабель. Это позволит обеспечить восстановление связи без извлечения из земли части ЗПТ с замороженным в лед ОК, а проведение земляных работ запланировать на ве- сенние месяцы.

3. Возможно также применять для проклад- ки в ЗПТ кабель с двухслойной оболочкой, вну- тренний слой которой выполнен из полимера с высокой жесткостью, а внешний слой состоит из более мягкого демпфирующего материала, по- верх которого накладывается тонкая полимерная пленка, обеспечивающая низкий коэффициент трения. Однако данный вариант является более дорогостоящим в сравнении с двумя перечисле- нными выше.

Расчет требуемого диаметра микроотруб- ки

Как уже было сказано выше, в случае, когда для прокладки в ЗПТ используется ОК облегчен- ной конструкции без демпфирующего слоя, пред- лагается вместе с ОК прокладывать в ЗПТ полую микроотрубку (см. рис. 2).

Выполним расчет требуемого диаметра ми- кроотруб- ки. Формула для расчета внешнего ди- аметра демпфера круглого сечения приведена в работе [5]:

$$D_{\text{комп}} \geq \sqrt{\frac{K_p (D_{\text{зпт}}^2 - n D_{\text{ок}}^2)}{1 + K_p - K_y}}, \quad (1)$$

$$K_p = \frac{V_{\text{л}} - V_{\text{в}}}{V_{\text{в}}}, \quad K_y = \frac{V_{\text{к2}}}{V_{\text{к1}}},$$

где $D_{\text{комп}}$ – внешний диаметр компенсатора; $D_{\text{зпт}}$ – внутренний диаметр ЗПТ; $D_{\text{ок}}$ – внешний диаметр оптического кабеля; $K_p = 0,1$ – коэффициент, характеризующий изменение объема воды при переходе в лед; $K_y = 0,3 \dots 0,5$ – коэффициент, характеризующий уплотнение компенсатора; V_l – объем, занимаемый льдом, после замерзания воды; V_a – объем, занимаемый водой, до замерзания; $V_{к2}$ – объем компенсатора после его максимального сжатия; $V_{к1}$ – объем компенсатора до сжатия; n – число кабелей в канале ЗПТ.

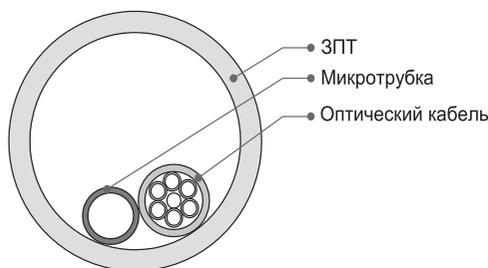


Рис. 2. Поперечное сечение ЗПТ с кабелем и компенсирующей микротрубкой

Результаты расчета необходимого внешнего диаметра микротрубки, используемой в качестве компенсатора, выполненные по формуле (1) для ЗПТ с различными типоразмерами, представлены на графиках рис. 3. При расчете было принято $K_y = 0,5$; то есть предполагалась возможность 50% сжатия компенсирующей трубки.

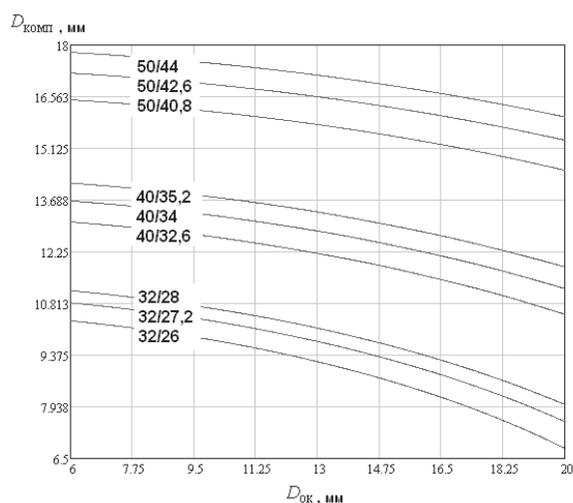


Рис. 3. Зависимость внутреннего диаметра компенсирующей трубки от внешнего диаметра ОК, для $K_y = 0,5$

На графиках рис. 4 представлены результаты расчета внешнего диаметра микротрубки, для $K_y = 0,7$; то есть для 30% сжатия компенсирующей трубки.

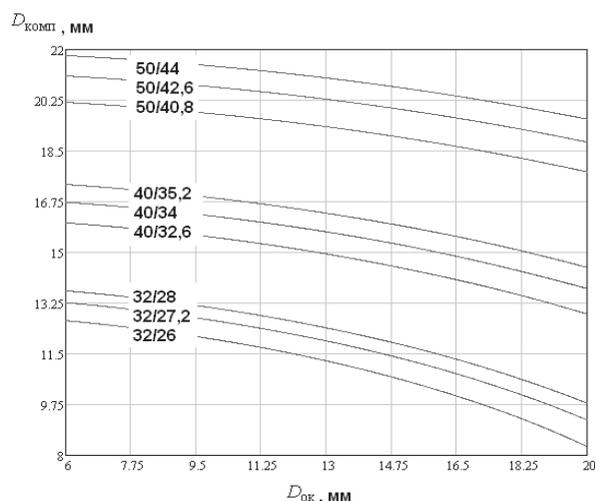


Рис. 4. Зависимость внутреннего диаметра компенсирующей трубки от внешнего диаметра ОК, для $K_y = 0,7$

На магистральных участках обычно используются микротрубки следующих диаметров: 10/8, 12/10, 14/11, 16/13 мм [6-7]. Диаметры ОК для ЗПТ в зависимости от числа ОВ могут лежать в пределах от 10-14 мм [8]. В таблице 1 приведены диаметры и требуемое число микротрубок для различных вариантов K_y , значений $D_{\text{ок}}$ и размеров ЗПТ. Число перед скобками – это число микротрубок, число в скобках – диаметр микротрубки в мм.

Таблица 1. Число микротрубок для различных диаметров ЗПТ и ОК

K_y	$D_{\text{ок}}, \text{мм}$	ЗПТ		
		32	40	50
0,5	10	1 (10)	1 (14)	1 (16)
	14			
0,7	10	1 (12)	1 (16)	2 (10)
	14			

Следует отметить, что графиками рис. 3-4 можно воспользоваться и в случае задувки в ЗПТ ОК в микротрубке. В этом случае вместо $D_{\text{ок}}$ необходимо брать внешний диаметр микротрубки, в которую задувается кабель.

Расчет требуемой толщины демпфирующего слоя кабеля

Для защиты ОК облегченной конструкции от нагрузок замерзающей воды в ЗПТ также возможно применять ОК с демпфирующим слоем (см. рис. 5). Выполним расчет необходимой толщины демпфирующего слоя для предложенной

конструкции кабеля. Площадь сечения компенсирующего слоя в кабеле должна быть равна площади сечения компенсатора с диаметром $D_{\text{комп}}$:

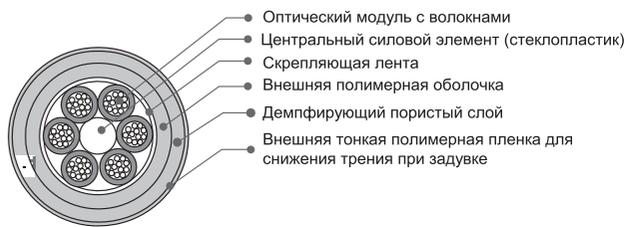
$$S_{\text{комп}} = S_{\text{комп ок}}$$


Рис. 5. Поперечное сечение кабеля с демпфирующим слоем

Площадь сечения компенсатора с диаметром $D_{\text{комп}}$ равна

$$S_{\text{комп}} = \pi \left(\frac{D_{\text{комп}}}{2} \right)^2.$$

Площадь сечения компенсирующего слоя в кабеле есть

$$S_{\text{комп ок}} = \pi (0,5 D_{\text{комп внеш}})^2 - \pi (0,5 D_{\text{комп внутр}})^2,$$

где $D_{\text{комп внеш}}$ — внешний диаметр компенсирующего слоя в кабеле; $D_{\text{комп внутр}} = D_{\text{ок}}$ — внутренний диаметр компенсирующего слоя в кабеле равен диаметру ОК без компенсатора (то есть диаметру сердечника ОК). Тогда $D_{\text{комп внеш}} = \sqrt{D_{\text{комп}}^2 + D_{\text{ок}}^2}$, и толщину компенсирующего слоя определим из соотношений:

$$D_{\text{ок}} + 2t = \sqrt{D_{\text{комп}}^2 + D_{\text{ок}}^2};$$

$$t = 0,5 \cdot \left(\sqrt{D_{\text{комп}}^2 + D_{\text{ок}}^2} - D_{\text{ок}} \right);$$

$$t = 0,5 \cdot \left(\sqrt{\frac{K_p \cdot (D_{\text{зпт}}^2 - D_{\text{ок}}^2)}{1 + K_p - K_y} + D_{\text{ок}}^2} - D_{\text{ок}} \right).$$

На графиках рис. 6-7 представлена зависимость требуемой толщины компенсирующего слоя от диаметра сердечника ОК для разных значений K_y . Видно, что при увеличении диаметра сердечника ОК требуемая толщина компенсирующего слоя снижается. Это происходит за счет уменьшения свободного объема в ЗПТ, который заполняется водой.

По этой же причине различается толщина компенсирующего слоя для одного и того же $D_{\text{ок}}$, но для разных диаметров $D_{\text{зпт}}$. Очевидно, что для ЗПТ 50/44 с внутренним диаметром 44 мм тре-

буемая толщина слоя будет больше, чем для ЗПТ 32/26 с внутренним диаметром 26 мм.

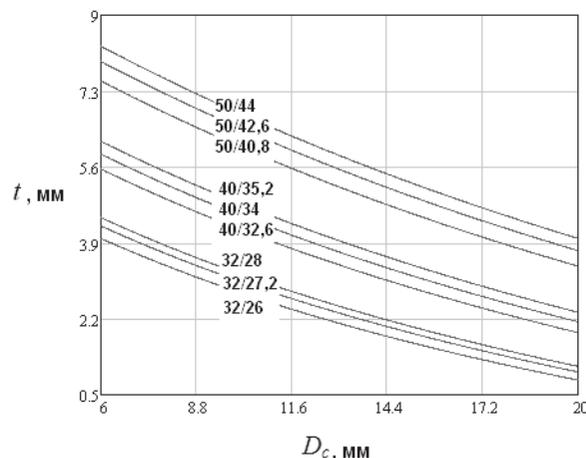


Рис. 6. Зависимость толщины компенсирующего слоя от диаметра сердечника ОК для $K_y = 0,7$

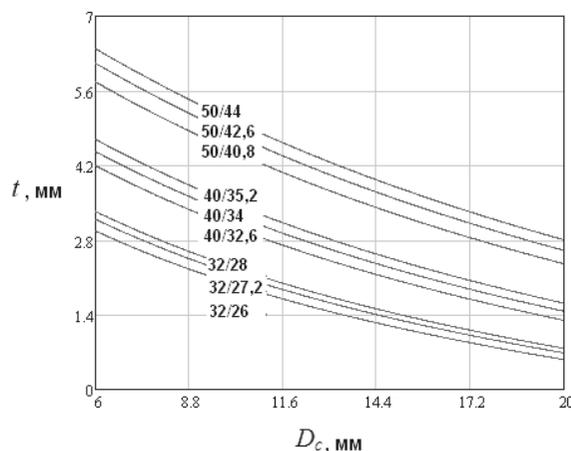


Рис. 7. Зависимость толщины компенсирующего слоя от диаметра сердечника ОК для $K_y = 0,5$

В таблице 2 приведены значения толщины демпфирующего слоя для различных вариантов K_y , значений D_c и типов ЗПТ.

Заключение

Для защиты ОК от нагрузок замерзающей в ЗПТ воды предложено предпочтение отдавать технологии прокладки ОК в микротрубках. В случае прокладки в ЗПТ кабеля не в микротрубках — использовать либо ОК с демпфирующим слоем, либо прокладывать вместе с ОК одну-две герметичные микротрубки. Выполнен расчет внешнего диаметра микротрубок для разных типоразмеров ЗПТ и значений $K_y = 0,3$ и $0,5$. Также выполнен расчет толщины компенсирующего слоя в кабеле. Полученные результаты исследований могут быть использованы при реализации предложенных мер защиты ОК от воздействия льда в ЗПТ.

Таблица 3. Толщина демпфирующего слоя

K_y	$D_{ок}$, мм	ЗПТ		
		32/28	40/35,2	50/44
0,5	10	32/27,2	40/34	50/42,6
		32/26	40/32,6	50/40,8
		2,3	3,5	5,1
0,5	14	2,2	3,3	4,8
		2	3,1	4,5
		1,6	2,6	4
0,7	10	1,5	2,4	3,8
		1,3	2,2	3,5
		3,2	4,8	6,8
0,7	14	3,1	4,5	6,5
		2,8	4,2	6,1
		2,3	3,7	5,6
		2,1	3,4	5,3
		1,9	3,2	4,9

Литература

1. Киушов А.В. Технология ЗПТ. Теория и практика // Lightwave RE. №3, 2005. – С. 36-41.

2. Спиридонов В.Н. Реальные перспективы использования ЗПТ при строительстве ВОЛС // Lightwave RE. №4, 2006. – С. 28-30.
3. Павлов А.В. Развитие магистральных цифровой связи российских железных дорог // Lightwave RE. №4, 2004. – С. 21-25.
4. Osborne B., Miller W. Fiber optic cable is susceptible to freezing in a way that traditional copper cables are not. www.polywater.com // http://www.poly-water.com/icefree3.html
5. Ляхович И.Ф., Рак С.М., Поляков С.Т. Защита кабелей от повреждений замерзающей водой // Вестник связи. №9, 1985. – С. 30-31.
6. Браулт Д., Целлар А. Системы пневматической прокладки для микрокабеля. Журнал сетевых решений LAN. №5, 2005. // http://www.osp.ru/lan/2005/05/140551/
7. Семенов Ю. Сети ШПД на основе оптических микрокабелей - новый взгляд на городскую телефонную канализацию // Первая миля. №4, 2008. – С. 16-21.
8. Воронцов А.С., Гурин О.И., Мифтяхетдинов С.Х. и др. Оптические кабели связи российского производства. М.: Эко-Трендз, 2003. – 283 с.

Получено 19.12.2014

Никулина Татьяна Геннадьевна, к.т.н., доцент, Кафедры линии связи и измерения в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 89277420742. E-mail: ntg81@list.ru

NON-ARMORED FIBER OPTIC CABLE PROTECTION FROM THE FREEZING WATER PRESSURE IN FIBER OPTIC CABLE DUCT

Nikulina T.G.

Today the «optical cable in the duct» technology at installation of cable lines is widely used. Distinctive feature of this technology is application of cables without armor at installation. The analysis of duct cable lines operating experience shows that at duct damage and loss of sealing water gets to a duct. The soil in winter time freezes to a depth of the duct laying and even more over large territory in Russia. It leads to freezing of an optical cable in ice if the duct had water filling. Thus the cable without armor can appear in more severe conditions than underground optical cable with armor which is traditionally used. There is a question how to protect an optical cable from ice loadings in case of damage of a duct. In article the existing ways of protection of a cable in a duct and possible difficulties of their realization are analyzed. It is offered to apply to protection of an optical cable the damping elements. Dampers can be used in a cable design or be laid together with a cable in a duct. It is offered to use the micro ducts as dampers. Diameters and number of dampers for various combinations of diameters of cables and ducts are calculated. At calculations possible extent of compression of a damper was considered. The received results of researches can be used at realization of the offered protection of an optical cable from ice loadings in a duct.

Keywords: optical cable, duct, microduct, damper, freezing water.

Nikulina Tatiana Gennadyevna, PhD in Technical Science, Associated Professor of the Department of Communication Lines, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel. +7 927 7420742. E-mail: ntg81@list.ru

References

1. Kiushov A.V. Tekhnologiya ZPT. Teoriya i praktika [Duct technology. Theory and practice]. *Lightwave RE*, 2005, no. 3, pp. 36-41.
2. Spiridonov V. N. Realnye perspektivi ispolzovaniya ZPT pri stroitelstve VOLS. [Real outlooks of use of a duct at installation of the fiber-optical cable line]. *Lightwave RE*, 2006, no. 4, pp. 28-30.
3. Pavlov A.V. Razvitie magistralnoy tsifrovoy seti svyazi Rossiskikh Zheleznikh dorog [Development of the long-haul digital communication network of Russian Railways]. *Lightwave RE*, 2004, no. 4, pp. 21-25.
4. Osborne B., Miller W. *What To Do When Ol' Man Winter Freezes Fiber Transmission. Fiber optic cable is susceptible to freezing in a way that traditional copper cables are not.* Available at: <http://www.polywater.com/icefree3.html>. (accessed 31.01.2015).
5. Lyakhovich I.F., Rak S.M., Polyakov S.T. Zashchita kabeley ot povrezhdeniy zamerzavshay vodoy [Protection of cables against damages by the freezing water]. *Vestnik-svyazy*, 1985, no. 9, pp. 30-31.
6. Brault D., Tsellar A. Sistemy pnevmaticheskoy prokladki dlya mikrokabelya [Systems of pneumatic installation for a microcable]. *Zhurnal setevikh resheniy LAN*, 2005, no. 5. Available at: <http://www.osp.ru/lan/2005/05/140551/>. (accessed 31.01.2015)
7. Semyonov Yu. Seti SHPD na osnove opticheskikh mikrokabeley – noviy vzglyad na gorodskuyu telefonnyu kanalizatsiyu [Broadband access networks on the basis of optical microcables – the new view on the city telephone conduit]. *Pervaya Milay*, 2008, no. 4, pp. 16-21.
8. Vorontsov A.S., Gurin O.I., Miftyakhetdinov S.Kh., eds. *Opticheskie kabeli svyazi rossiyskogo proizvodstva* (Optical cables of communication of the Russian production) Moscow, Eco-Trendz Publ., 2003. 283 p.

Received 19.12.2014

УДК 681.335

ВРЕМЯ КОММУТАЦИИ И ЕМКОСТЬ АКУСТООПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА

Давыдов А.И.¹, Мухамадиев А.А.², Ураксеев М.А.²

¹Уфимский государственный университет экономики, Уфа, РФ

²Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

E-mail: andrey87ufa@yandex.ru

В данной статье получены зависимости, определяющие емкость и время коммутации акустооптического коммутатора, на основе анализа свойств акустооптического дефлектора с изотропным типом дифракции.

Ключевые слова: акустооптический, коммутатор, дефлектор, емкость, время коммутации, быстродействие, разрешающая способность.

Введение

Изменение архитектуры волоконно-оптических сетей, оперативная маршрутизация в волоконно-оптических линиях связи может быть осуществлена акустооптическим коммутатором [1]. Акустооптический (АО) коммутатор служит для коммутации входного оптического волокна 1 с произвольным волокном выходного волоконно-оптического массива 2 (см. рис. 1). Входной оптический сигнал 3 передается оптическому волокну 1 и проецируется на линзу 4, коллимирующую расходящийся пучок излучения 5.

Коллимированное оптическое излучение 6 преобразуется в плоскую волну 7 поляризатором 8 и отклоняется АО дефлектором 9 на заданный угол. Генератор 10 управляет углами отклонения АО дефлектора 9 посредством управляющей линии 11. Отклоненный оптический сигнал 12 фокусируется линзой 13 в выходное оптическое волокно 14. Та-

ким образом, входной оптический сигнал 3 будет скоммутирован между оптическими волокнами 1 и 14. Если требуется связать входное оптическое волокно 1 с другим волокном волоконно-оптического массива 2, управляющие сигналы будут изменены генератором 9, и как результат будет изменен угол отклонения АО дефлектора 8 [2-4].

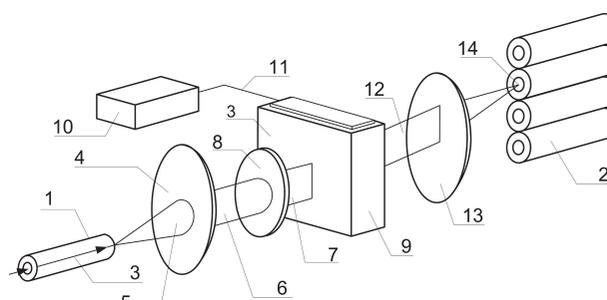


Рис. 1. Структура АО коммутатора