ЭКОНОМИКА СВЯЗИ

УДК 621.391.63

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ

Е.Б. Алексеев, профессор, д.т.н.; aleks-ipk@yandex.ru

Рассматривается технико-экономический аспект целесообразности применения системы мониторинга оптических кабелей (СМОК) на магистральных, зоновых и местных ВОЛП, исходя из соотношения затрат на потери трафика из-за неисправностей и затрат на внедрение СМОК. Для стоимостной оценки эффективности мероприятий по повышению надежности сети путем внедрения СМОК определено дополнительное время для использования каналов, которое получено в результате сокращения продолжительности простоев. Из расчетов следует, что внедрение СМОК на всех ВОЛП приводит в целом к положительному технико-экономическому эффекту в процессе эксплуатации благодаря компенсации затрат на местных сетях и сетях доступа за счет прибыли на магистральных и зоновых сетях.

Ключевые слова: *транспортные сети операторов, система мониторинга оптических кабелей, элементарный кабельный участок, коэффициент готовности (простоя), технико-экономическая эффективность.*

Введение. Основной задачей системы мониторинга оптических кабелей волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) является обеспечение требуемых значений (норм) комплексного показателя надежности — коэффициента готовности транспортных сетей операторов. Руководящим документом «Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года» (книга 2; далее РД «Факел 2») [1] и приказом Мининформсвязи России от 27 сентября 2007 г. № 113 (приложение 2 [2]) были определены нормы на коэффициент готовности для сетей междугородной и международной (МГ/МН), зоновой и местной телефонной связи и сети передачи данных.

С точки зрения оценки коэффициента готовности реальных ВОЛП множество магистралей на транспортной сети оператора должно быть разделено на подмножества: магистральных (протяженностью не более 12500 км), зоновых (протяженностью не более 1400 км) и местных (протяженностью не более 200 км) ВОЛП — в соответствии с РД «Факел 2», а также участков доступа (протяженностью не более 20 км) — в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.983.1 [3].

Как следует из анализа инфраструктуры транспортных сетей операторов связи, на действующих магистралях используется в основном оборудование ВОЛП на базе цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии (ЦСП СЦИ) и ВОСП со спектральным разделением (ВОСП-СР), что свидетельствует о большом объеме трафика на отдельных магистралях. Таким образом, сети операторов связи на базе ВОЛП являются цифровыми транспортными сетями. В качестве промежуточных пунктов ВОЛП применяются либо регенераторы СЦИ, либо оптические усилители.

Часть магистралей, имеющих большую протяженность, по статусу могут быть отнесены к магистральным (междугородным и/или международным) соединительным линиям. Большинство остальных магистралей, являющихся ответвлениями и имеющих небольшую протяженность, по существу представляют собой соединительные линии зоновых и местных сетей, а также участки сетей доступа. При этом будем исходить из следующих определений [4]:

- международные сети связи — сети электросвязи, технологически сопряженные с сетями связи других государств;
- междугородные (магистральные) сети связи — сети электросвязи технологически сопряженные, образуемые между центром Российской Федерации, центрами субъектов Федерации и между собой;
- зоновые (региональные) сети связи — сети электросвязи технологически сопряженные, образуемые в пределах территории одного субъекта Федерации;
- местные сети связи — сети электросвязи технологически сопряженные, образуемые в пределах административной или определенной по иному принципу территории, не относящейся к региональным сетям связи;
- сеть доступа сети связи — та ее часть, которая связывает источник (приемник) сообщений с узлом доступа, являющимся граничным между сетью доступа и транспортной сетью.

Расчет технико-экономической эффективности применения СМОК. Исходными данными для расчета коэффициента готовности ВОЛП являются среднее время наработки на отказ и среднее время восстановления. Критерий отказа на ВОЛП — превышение эксплуатационного порога недопустимого качества функционирования цифровых каналов и трактов, определяемого в результате расчета эксплуатационных норм по показателям ошибок в зависимости от категории и протяженности реального участка, скорости передачи и типа цифрового сигнала [4]. На значение коэффициента готовности влияет и среднее время восстановления, которое зависит, в том числе, от времени обнаружения и локализации неисправности, а также от возможности фиксировать события, упреждающие возникновение неисправности (отказа) в линейно-кабельных сооружениях (ЛКС) ВОЛП.

Из анализа инфраструктуры транспортных сетей операторов связи также следует, что большое количество элементарных кабельных участков (ЭКУ) и широкий разброс их по протяженности неизбежно приведут к значительным затратам на внедрение системы мониторинга параметров и показателей качества ВОЛП. Поэтому при разработке концепции построения системы мониторинга необходимо рассмотреть технико-экономический аспект целесообразности внедрения программно-технических средств системы мониторинга оптических кабелей на всех ВОЛП транспортных сетей операторов связи, учитывая соотношение затрат на потери трафика из-за неисправностей и затрат на мероприятия по повышению показателей надежности путем внедрения СМОК.

В [5] приведены архитектура и состав оборудования СМОК, в [6] рассмотрены вопросы эффективности применения СМОК на транспортных сетях операторов связи по критерию надежности функционирования ВОЛП.

Как следует из анализа инфраструктуры транспортных сетей операторов, большое количество ЭКУ ВОЛП и широкий разброс их по протяженности могут привести к значительным затратам на внедрение на транспортных сетях операторов связи. Поэтому при разработке проекта построения системы мониторинга необходимо рассмотреть технико-экономический аспект целесообразности внедрения программно-технических средств системы мониторинга на всех ВОЛП (магистральных, зоновых и местных), исходя из соотношения затрат на потери трафика из-за неисправностей и затрат на мероприятия по повышению показателей надежности путем внедрения системы мониторинга.

В ходе расчета сначала по данным характеристик надежности отдельных компонентов вычисляются суммарные показатели надежности всего комплекса ВОЛП. Затем полученные значения сравниваются с требуемыми значениями, пересчитанными из действующих норм на типовые протяженности магистральных, зоновых и местных ВОЛП $L_м$ по данным в [1] к протяженности реальных ВОЛП по данным инфраструктуры транспортных сетей операторов L. Информация о характеристиках надежности отдельных компонентов ВОЛП присутствует в технических условиях.

Требуемые показатели качества и надежности для местных (МСП), зоновых (ЗПС) и магистральных (СМП) сетей связи ЕСЭ РФ с максимальной протяженностью $L_м$ (без резервирования) приведены в табл. 1 [1].

Для стоимостной оценки эффективности мероприятий по повышению надежности сети путем внедрения СМОК сначала рассчитывается дополнительное время для использования каналов, полученное за счет сокращения продолжительности простоев. Для этого производится расчет значений коэффициентов простоя при отсутствии СМОК и в случае применения системы на магистральных, зоновых и местных ВОЛП. Разность значений коэффициентов простоя соответствует разности значений среднего времени простоя в год, которое и является дополнительным временем для использования каналов $T_{доп}$ (табл. 2).

Таблица 2. Данные результатов расчета для различных уровней иерархии СМОК

Уровень иерархии СМОК	Суммарная интенсивность отказов ОК, 1/ч	Суммарная протяженность сети, км	Расчетное значение $T_{доп,}$ ч
Региональный	$1{,}71 \cdot 10^{-2}$	44000	210
Зоновый	$4{,}75 \cdot 10^{-2}$	122400	583
Местный	$3{,}36 \cdot 10^{-2}$	86500	144

Примечания. 1. Значения суммарных протяженностей транспортных сетей ВОЛП на региональном иерархическом уровне (магистральные ВОЛП), на зоновом и местном (оптические сети доступа) иерархических уровнях L приведены по данным анализа инфраструктуры транспортных сетей оператора связи федерального уровня.
2. Значения среднего времени подъезда для магистральных и зоновых ВОЛП в соответствии с примечанием к табл. 1 принято 2 ч, для местных ВОЛП и оптических сетей доступа — предположительно 0,7 ч.

Таблица 3. Ориентировочный доход от увеличения полезного времени работы каналов ОЦК

Уровень иерархии СМОК	Полезное время работы каналов ОЦК (канал × ч)	Число каналов ОЦК	Доход от внедрения СМОК в год (млн руб.)
Региональный	$2{,}5 \times 10^7$	$1{,}2 \cdot 10^5$	1500
Зоновый	$1{,}75 \times 10^6$	$3 \cdot 10^4$	2100
Местный	$2{,}16 \times 10^5$	1500	156

Примечания. 1. При расчете приняты следующие средние объемы передаваемого трафика по одному оптическому тракту для каждого из иерархических уровней: 100 ГГбит/с — для регионального (с использованием ВОСП-СР); 2,5 ГГбит/с — для зонового (СТМ-16); 100 Мбит/с — для местного (оптические сети доступа).
2. При расчете дохода учитывается среднее число задействованных (рабочих) пар оптических волокон (ОВ) в кабеле в соответствии с табл. 4.
3. По данным операторов связи, использование одного канала ОЦК в час приносит в среднем доход 30 руб.

Таблица 1. Показатели надежности для сетей связи ЕСЭ РФ с различной протяженностью

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой системы передачи	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Комплект аппаратуры окончания тракта
	МСП, $L_м$ = 200 км		
Коэффициент готовности	> 0,997	> 0,9994	0,9987
Среднее время между отказами, ч	> 400	> 7000	> 2500
Время восстановления, ч	< 1,1	< 4,24	См. примечание
	ЗПС, $L_м$ = 1400 км		
Коэффициент готовности	> 0,99	> 0,998	0,99
Среднее время между отказами, ч	> 111,4	> 2050	> 350
Время восстановления, ч	< 1,1	< 4,24	См. примечание
	СМП, $L_м$ = 12500 км		
Коэффициент готовности	> 0,92	> 0,982	0,92
Среднее время между отказами, ч	> 12,54	> 230	> 40
Время восстановления, ч	< 1,1	< 4,24	См. примечание

Примечание. Для оборудования линейных трактов на МСП, ЗПС и СМП должно быть:
время восстановления НРП $T_{в\ нрп}$ < 2,5 ч (в том числе время подъезда 2 ч);
время восстановления ОРП, ОП $T_{в\ орп}$ < 0,5 ч;
время восстановления ОК $T_{в\ ок}$ < 10 ч (в том числе время подъезда 3,5 ч).

При этом полезное время работы каналов ОЦК увеличивается на

$$T_{кан} = T_{доп}V, \quad (1)$$

где V — число каналов ОЦК в ВОЛП.

Результаты расчета ориентировочного дохода от увеличения полезного времени работы каналов ОЦК с использованием выражения (1) для различных уровней иерархии СМОК приведены в табл. 3.

Данные результатов расчета ориентировочных затрат и прибыли от внедрения СМОК в год для различных уровней иерархии приведены в табл. 4.

Количество применяемых комплектов аппаратуры мониторинга оптических кабелей (АМОК) для различных уровней иерархии и опытного участка ВОЛС приведены в таблице 5.

Заключение. По результатам расчетов можно сделать следующие выводы. Наибольший эффект от внедрения СМОК ожидается на магистральных и зоновых транспортных сетях. По мере развития пропускной способности сетей оператора связи за счет подключения резервных ОВ в кабелях ВОЛП и/или увеличения объема передаваемого трафика по рабочим ОВ доходы от внедрения СМОК на магистральных и зоновых сетях будут расти.

Ожидается, что мониторинг ОК на ОСД из-за довольно высокой стоимости оборудования СМОК и сравнительно небольшого объема передаваемого трафика приведет к превышению затрат над доходом от внедрения СМОК. Но в перспективе при внедрении на ОСД технологий GPON при глобальной востребованности услуг широкополосных сетей связи ситуация изменится. Как показывают расчеты, при увеличении объема передаваемого трафика всего в шесть раз (со 100 Мбит/с до уровня СТМ-4) доход от внедрения СМОК на ОСД уже превысит доход от внедрения на магистральных транспортных сетях благодаря использованию меньшего количества УК.

Внедрение СМОК на всех иерархических уровнях (на всех транспортных сетях) приводит в целом к положительному технико-экономическому эффекту от внедрения системы мониторинга параметров и показателей качества ВОЛП в процессе эксплуатации уже сегодня за счет компенсации затрат на ОСД получением прибыли на магистральных сетях.

Таблица 4. Ориентировочные затраты и прибыль от внедрения СМОК

Уровень иерархии СМОК	Среднее число рабочих пар ОВ	Затраты на внедрение СМОК в год (млн руб.)	Прибыль от внедрения СМОК в год (млн руб.)
Региональный	2	241,4	1258,6
Зоновый	4	597,3	1502,7
Местный	24	267,6	– 111,6
Опытный участок ВОЛС	4	2,35	4,49

Примечания. 1. При расчете затрат по данным разработчика использованы следующие значения стоимости разрабатываемых комплектов оборудования СМОК [5]: ЦСМ — 100 тыс. руб., УК — 650 тыс. руб., ТРМ — 100 тыс. руб., ПО сервера — 100 тыс. руб., а их количества для различных уровней иерархии приведены в табл. 5.
2. Среднее число задействованных (рабочих) пар ОВ в кабеле — предполагаемое, исходя из среднего числа ОВ в кабеле в соответствии с табл. 6.

Таблица 5. Число комплектов АМОК

Уровень иерархии СМОК	Число ЦСМ	Число УК	Число ТРМ
Региональный	7	367	21
Зоновый	21	906	63
Местный	84	360	252
Опытный участок ВОЛС	–	3	3

Примечания: 1. Число ЦСМ принято на основе следующих допущений: на региональном уровне ЦСМ размещается в ЦТЭ регионального уровня оператора; на зоновом уровне предполагается в среднем по три зоны (областных центра) на каждом региональном уровне; на местном уровне — в среднем по четыре районных центра, выполняющих функции пункта доступа к транспортной сети и узла предоставления услуг.
2. Число УК принято в соответствии с числом ЭКУ на каждом уровне иерархии, приведенными в табл. 6, исходя из среднего значения соотношения количества УК/ЭКУ с учетом использования одного комплекта УК для диагностирования нескольких ЭКУ: для регионального уровня — 1/2, для зонового — 1/3, для местного — 1/24.
3. Число ТРМ принято по результатам комплектации оборудования СМОК исходя из соотношения ЦСМ/ТРМ — 1/3.

Таблица 6. Число ЭКУ на каждом уровне иерархии СМОК

Уровень иерархии СМОК	Среднее число ОВ в кабеле	Средняя протяженность ЭКУ, км	Число ЭКУ
Региональный	16	60	733
Зоновый	24	45	2720
Местный	96	10	8650
Опытный участок ВОЛС	24	44,44	9

Примечания: 1. Данные для регионального уровня приведены по данным анализа инфраструктуры транспортных сетей оператора связи федерального уровня.
2. Средняя протяженность и число ЭКУ для зонового и местного уровней определены исходя из суммарных протяженностей сетей (см. табл. 2).
3. Среднее число ОВ в кабеле для местного уровня — предполагаемое, из практики внедрения оптических сетей доступа (ОСД).

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года: Руководящий документ, кн. 1, 2. — М., 1996.
2. Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сетей связи общего пользования. — Приказ Мининформсвязи России от 27 сентября 2007 г. № 113.
3. Рекомендация МСЭ-Т G.983.1 — Широкополосные оптические сети доступа на базе пассивных оптических сетей.
4. **Алексеев Е.Б**. Эксплуатационные нормы на показатели качества функционирования каналов и трактов передачи цифровых транспортных сетей // T — Comm. — 2012. — № 8.
5. **Алексеев Е.Б., Бурдин В.А**. Построение системы удаленного мониторинга оптических кабелей на транспортных сетях операторов связи //Электросвязь. — 2013. — № 6.
6. **Алексеев Е.Б., Бурдин В.А.** К вопросу об эффективности мониторинга оптических кабелей на транспортных сетях операторов связи //T — Comm. — 2013. — № 6.

Получено 15.04.15