DOI: 10.17117/nv.2014.01.079

Поступило в редакцию: 06.11.2014

<http://ucom.ru/doc/nv.2014.01.079.pdf>

info@kazatk.kz

Кемельбеков Б.Ж., Оразымбетова А.К. Оспанова Н.А. Измерения и поиск дефектов в оптических волокнах

Kemelbekov B.D., Orazymbetova A.K., Ospanova N.A
Измерения и поиск дефектов в оптических волокнах

В статье описаны алгоритмы поиска дефектов в оптических волокнах и определение расстояния. Предложен расчет надежности ВОЛС подбора аппаратуры для контроля технических параметров и уравнение показателя надежности ВОЛС

Ключевые слова: оптическое волокно, рефлектометр, неисправность

The fault location algorithms for optical fibers and distance determination are described. The reliability calculation of fiber-optic circuit selection for the technical parameters monitoring and a reliability index equation for fiber-optic circuit are proposed

Key words: optical fiber, reflectometer, fault

Кемельбеков Бекен Жасымбаевич

Доктор технических наук, профессор
Академия транспорта и коммуникаций,
Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97

Kemelbekov Beken Djasymbaevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor
Kazakh Academy of Transport and Communications
Kazakhstan, Almaty, Shevchenko st., 97

Оразымбетова Айгуль Каныбековна

Старший преподаватель
Академия транспорта и коммуникаций,
Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97

Orazymbetova Aygul Kanybekovna

Senior Teacher
Kazakh Academy of Transport and Communications
Kazakhstan, Almaty, Shevchenko st., 97

Оспанова Нуржамал Акбаевна

Старший преподаватель
Академия транспорта и коммуникаций,
Казахстан г. Алматы, ул. Шевченко, 97

Ospanova Nyrzhamal Akbayevna

Senior Teacher
Kazakh Academy of Transport and Communications
Kazakhstan, Almaty, Shevchenko st., 97

В процессе прокладки и эксплуатации волоконно-оптических линии связи они нуждаются в постоянном контроле технических параметров путем периодических измерений основных характеристик, на основании которых делаются выводы о надежности работы, как отдельных ее участков, так и магистрали в целом [1].

Процесс эксплуатации ВОЛС включает в себя несколько основных операций:

– восстановление ВОЛС. Методы быстрого восстановления ОК и его капитального ремонта зависят от характера повреждения (например, от характера распределения обрывов ОВ вдоль ОК). Характер распределения обрывов зависит от величины натяжения ОК. При пожарах, ударах молнии повреждения наступают при малом натяжении, а повреждения волокон имеют место на небольшом участке. Следовательно, ремонт ОК на месте повреждения приведет к

полному восстановлению связи. Если повреждение возникло в результате большого натяжения (при землеройных работах, падении столбов, деревьев), то необходимо более тщательно изучить место повреждения. В этом случае предпочтительным методом быстрого восстановления является замена кабеля между двумя муфтами резервным кабелем, находящимся в резервном канале кабельной канализации или на поверхности земли. Этот метод в большинстве случаев является предпочтительным благодаря его скорости и надежности. При наличии обрывов нескольких волокон или структурных повреждениях поврежденный кабель выгоднее заменить новым постоянным кабелем. ОК можно восстанавливать и снова вводить в эксплуатацию, если место повреждения волокна определено точно.

– систему непрерывного контроля, которая включает панель с каналами аварийной сигнализации, панели с окончаниями каналов аварийной сигнализации, чувствительные элементы сростков и лента, для обнаружения наличия влаги. Панель с каналами аварийной сигнализации является основным блоком управления в системе контроля. Обеспечивает питание системы и опрос ее элементов. Имеет три аварийных режима работы, которые включаются при конкретном типе повреждения.

Для достижения требуемых параметров передачи волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) необходимо проводить комплекс измерений ОВ и других компонентов волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Измерения осуществляются различными методами и аппаратурой, соответствующей ТУ метрологического обеспечения при строительстве и технической эксплуатации ВОЛС.

Рефлектометр является единственным средством определения величин потерь, затухания и отражения ВОЛС в основе которого положен метод обратного рассеивания (МОР), который получил широкое распространение на практике ввиду возможности одновременного инсталлирования нескольких параметров ОВ, проведение измерений с одного конца и т.д. При измерении на современных ВОЛС необходимо учитывать наличие оптических усилителей, которые формируют шум, ухудшающий условия измерения рефлектометром.

Принцип OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) измерений основан анализе оптического излучения, прошедшего через ОВ и возвращаемого на фото приёмное устройство в результате обратного релеевского рассеивания и отражений Френеля.

Не все технические характеристики OTDR соответствуют современным потребностям при решении измерительных задач на ВОЛС, например, низкий динамический диапазон, недостаточная разрешающая способность по расстоянию. Поэтому для их повышения необходимо описать математическую модель МОР и промоделировать процессы, связанные с рассеянием и отражениями в ОВ.

После математической обработки сигнала на экране OTDR, формируется изображение, называемое рефлектограммой, представляющей зависимость уровня сигнала от расстояния вдоль волокна.

Световой сигнал, распространяющийся по ОВ, затухает по экспоненциальному закону:

$$P(x) = P_0 \cdot e^{-\alpha x} = P \cdot e^{-(\alpha_n + \alpha_p) \cdot x} \quad (1)$$

где: P_0 – мощность излучения;

X – координата расстояния;

$\alpha = \alpha_n + \alpha_p$ – ослабление, состоящее из ослабления поглощения и рассеивания, α_n и α_p постоянны по длине ОВ от начала ВОЛС до точки X [2].

$$\alpha_n = \frac{4,34 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot \operatorname{tg} \delta}{\lambda [\text{м}]} \quad (2)$$

$$\alpha_p = \frac{K_p}{\lambda^4} = K_p \cdot \lambda^{-4} = 0,8 \cdot \lambda^{-4} [\text{мкм}] \quad (3)$$

где: n_1 – показатель преломления сердцевины волокна;

λ – длина световой волны;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь (зависит от материала ОВ) [3].

На интервале $X + \Delta X$ поток излучения меняется на величину ΔP :

$$\Delta P = P_0 \cdot \alpha_p \cdot e^{-\alpha x} \cdot \Delta X \quad (4)$$

где: ΔX – интервал измерения зависит от длительности зондирующего импульса (Δt) и для гауссовских импульсов определяется как:

$$\Delta X = \frac{C \cdot \Delta t}{n_{gr}}; \quad n_{gr} = n_1 \left(1 - \frac{\lambda}{n_1} \cdot \frac{dn_1}{d\lambda} \right) \quad (5)$$

где: n_{gr} – групповой коэффициент преломления сердцевины ОВ.

Рассеянный свет излучается во все стороны, однако небольшая его часть распространяется по ОВ обратно. Эта часть от общего рассеянного света определяется коэффициентом:

$$G = \frac{NA^2}{4 \cdot n_2^2} \quad (6)$$

где: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ – числовая апертура ОВ; n_2 – показатель преломления оболочки кабеля.

Используя (1 – 6) формулы, можно рассчитать сигнал, обратного рассеивания, приведенный ко входу ОВ:

$$P(x) = (P_0 \cdot \alpha_p \cdot e^{-\alpha x} \cdot \Delta X) \cdot G e^{-\alpha x} \quad (7)$$

Множитель в скобках (1), соответствует всему рассеянному на интервале $X + \Delta X$ свету, второй (6) – соответствующей обратному рассеиванию, третий – затуханию отраженного потока излучения, распространяющегося в обратном направлении [4 – 6].

При тестировании активных ОВ (передаются данные) в линию вводится оптическое излучение с длиной волны, не совпадающей с длиной волны излучения, переносящего рабочую нагрузку. В каждом ОК могут тестироваться, как по одному, так все ОВ. В зависимости от длины волны излучения, передающего

рабочую нагрузку, используются излучения с длиной волны 1,31 мкм, 1,55 мкм, 1,625 мкм. Для ввода излучения рефлектометра в активное ОВ и вывода излучения, передающего трафик, используются спектральные мультиплексоры. По сравнению с методом контроля по пассивным волокнам, метод контроля по активным ОВ обеспечивает 100% вероятность обнаружения неисправности. Так как использование метода сопряжено с увеличением стоимости системы тестирования, то его использование целесообразно для контроля ответственных участков ВОЛС.

Таким образом, быстрота и эффективность обслуживания сетей обеспечивается, если контрольное оборудование отличается простотой в эксплуатации, надежностью и точностью. При этом, выбор оборудования зависит от требующихся диагностических процедур:

Определение целостности волокна. Если световой сигнал источника достигает приемника, то это означает, что волокно цело на всем своем протяжении.

Локализация обрыва в волокне. Поскольку кабель, как правило, недоступен для прямого осмотра, обрыв определяют при помощи диагностического оборудования.

Определение общих оптических потерь в волокне (затухание “из конца в конец”). Работоспособность волоконной линии связи определяется, прежде всего, чувствительностью приемника – потери в линии не должны ослабить сигнал до такой степени, что он уже не будет восприниматься приемным устройством.

Идентификация волокна. Выделение нужного волокна из множества волокон, проходящих внутри кабеля (обычно при сварке волокон).

Определение оптических потерь на сварном соединении. Качество сварного шва определяется величиной оптических потерь на шве и измеряется в децибелах. Оптические потери на шве должны быть минимальны, чтобы сигнал смог достичь приемника.

Определение коэффициентов отражения сварного шва и соединительного разъема. Коэффициент отражения характеризует ту часть светового сигнала, который отразился от сварного шва или соединительного разъема. Этот параметр особенно важен для систем скоростной передачи информации (SDH) и аналоговых видеосистем.

Общие потери на отражение определяются как доля светового сигнала, вернувшаяся на вход волокна в результате отражения. Слишком мощный обратный сигнал может вызвать проблемы в аналоговых и цифровых системах.

Определения уровня битовых ошибок (УБО). Цифровые системы, особенно те, что работают с компьютерными данными, требуют контроля УБО. УБО определяется как отношение неправильно принятых бит по отношению к количеству правильно принятых бит.

Определение качества волокна. Критерием качества волокна служит удельное затухание в волокне, которое измеряют в дБ/км. Обычно удельное поглощение определяют при изготовлении и приводят в технических характеристиках волокна.

Определение поляризационной модовой дисперсии (ПМД).

Определение хроматической дисперсии волокна (ХД). ПМД и ХД являются важными характеристиками волокна при передаче сигналов со скоростями 625 Мбит/с и выше.

Определение и локализация замкания волокна. Проникновение воды в кабель приводит к деградации волокна и ухудшению его передающих свойств.

Документирование полученных результатов (распечатка или сохранение на диске, топографическая привязка).

Автоматический дистанционный контроль. Система управления работой волоконно-оптических кабелей позволяет контролировать всю сеть с поста, расположенного на центральной станции.

Алгоритм выполнения мероприятий при осуществлении контроля работоспособности и устранения повреждений в волоконно-оптической системе передачи представлен на рис. 1.

Таким образом, алгоритм идентификации повреждений сводится к процессу, в результате анализа и сопоставления данных контроля определяется конкретная причина повреждения, его местонахождение, устранение и контрольное тестирование.

Идентификация повреждения выполняется в несколько этапов и зависит от квалификации строительных бригад; категории грунта; наличия преград (водных, скалистых местностей) на предполагаемом участке строительства, наличием необходимого контрольно-измерительного оборудования.

Процесс идентификации повреждения состоит из следующих этапов:

- сбор и анализ исходной информации;
- тестирование и проверка исходной информации;
- установление и идентификация неисправности;
- локализация неисправности.

Действия, которые на каждом из этих этапов необходимо выполнить, зависят от ситуационной схемы, строгом соблюдении регламента и последовательно произведенных действий которые и обеспечивают устранение неисправности в кратчайшие сроки.

Рассмотрим вероятность безотказной работы (ВБР) и вероятность отказов

(ВО) в функции ПРО $f(t)$. Так как интенсивность отказов (ИО) (t) это более полная характеристика надежности, то выразим ВБР $P(t)$ через ИО.

Используя выражение для интенсивности отказов:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (8)$$

Запишем

$$dP(t) / dt = - \lambda(t) \cdot P(t).$$

Разделяя переменные (умножив обе части на $dt / P(t)$), получим

$$dP(t) / P(t) = - \lambda(t) dt.$$

Интегрируя от 0 до t и принимая во внимание, что при $t = 0$ ВБР объекта $P(0) = 1$, получаем

$$\int_0^t \frac{dP(t)}{P(t)} = \ln P(t) \Big|_0^t = \ln P(t) = - \int_0^t \lambda(t) dt, \quad (9)$$

Откуда уравнение связи основных показателей надежности примет вид:

$$P(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t) dt \right\}. \quad (10)$$

Величина $\lambda(t) dt$ – есть вероятность того, что элемент, безотказно проработавший в интервале наработки $[0, t]$, откажет в интервале $[t, t + dt]$.

При вредительствах, связанных с хищениями кабеля; строительных работ сторонними организациями с разрытием грунта трассы ВОК, без согласования контролирующих органов телекоммуникации; нарушение целостности кабеля грызунами, как правило, приводит к обрыву или образованию неоднородности ОВ на строительной длине кабеля.

В этих случаях персонал АББ проводит осмотр кабельной трассы на поврежденном участке. В обязанность персонал АББ входит не только определение места повреждения, но и их устранение

Персонал АББ, после того, как определяет примерное место повреждения кабеля по картограмме, в близлежащих колодцах намеренно изгибают кабель. Таким образом, по резким перепадам рефлектограммы определяются колодцы в обеих направлениях от места повреждения. И по команде измерителя персонал АББ достают кабель до этих колодцев и устанавливают длину ВОК, необходимую для смены поврежденного.

В случаях когда, повреждение находится в промежутке между колодцами, то есть на строительной длине или нет запаса ВОК, для того чтобы, переделать муфту, устанавливают постоянную кабельную вставку.

Для ВОЛС протяженностью L при постоянных условиях эксплуатации интенсивность потока отказов находится из выражения: $\psi = \zeta L$.

Для ВОЛС, организованной из m участков с различными средними значениями интенсивности отказов $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_i, \dots, \zeta_m$, интенсивность потока отказов равна:

$$\psi = \sum_{i=1}^m \zeta_i L_i \quad (11)$$

Полагая, что зависимость вероятности безотказной работы ВОЛС от времени t имеет экспоненциальную зависимость, можно записать плотность распределения вероятности безотказной работы:

$$p(t) = \psi \exp(-\psi t). \quad (12)$$

Очевидно, что среднее время восстановления t_v ВОЛС складывается из среднего времени обнаружения неисправности $t_{об}$, среднего времени определения характера и места повреждения $t_{изм}$, среднего времени ремонта $t_{рем}$, т.е. $t_v = t_{об} + t_{изм} + t_{рем}$. При повреждении кабельных линий появляется время $t_{тр}$, необходимое для прибытия ремонтной бригады на место повреждения линии. Отсюда можно определять пути уменьшения времени восстановления повреждений ВОЛС.

По условиям работы время восстановления связи $t_{вос}$ много меньше времени безотказной работы $t_{б.р.}$. Следовательно $\psi \approx 1/t_{б.р.}$ и восстановление неисправности ВОЛС происходит в течение случайного времени $t_{вос}$, распределенного по закону Пуассона с параметром $\mu_{в} = 1/t_{вос}$ и плотностью:

$$\varphi(t) = \mu_{в} \exp(-\mu_{в}t). \quad (13)$$

Параметр распределения $\mu_{в}$ иногда называют производительностью подсистемы восстановления работы кабельных магистралей, так как он соответствует числу устраняемых отказов в единицу времени.

Рис. 1. Алгоритм поиска неисправностей на ВОСП

Критерий надежности световода также требует оптимизации его площади поперечного сечения, т.е. выбора числа ОВ в каждом информационном канале. Количество ОВ в пучке определяется двумя факторами [7]: требуемой

площадью поперечного сечения пучка волоконных световодов S_0 ; требуемой надежностью участка линии связи.

Общая площадь поперечного сечения пучка определяется площадью излучающей поверхности источника излучения. Наименьшее количество ОБ зависит от максимально возможного внешнего диаметра $d_{\max}$ ОБ, определяемого его механическими параметрами и условиями изготовления ОК:

$$N_{\min} = 4S_0 / \pi d_{\max}^2 \quad (14)$$

Распределение разрывов каждого ОБ вдоль и поперек пучка ОБ подчиняется статистическим законам. Прежде всего, необходимо оценить условия и характер возникновения обрывов. Обрывы возможны при изготовлении ОК и в процессе его прокладки, а также во время эксплуатации.

В процессе прокладки повреждения ОБ более вероятны, чем при эксплуатации, однако эти обрывы в случае их появления, скорее всего, приведут к полному повреждению пучка ОБ. Более частные, распределенные по длине пучка и отдельным волокнам, обрывы возникают при изготовлении ВОК – брак продукции. Обрывы в основном возникают при наложении защитных покрытий на жгуты, образующие пучок. Повреждается, как правило, одно волокно, оказавшееся наиболее слабым на этом участке или подвергшееся наибольшему усилию.

Надежность кабельных линий связи определяется совместным влиянием внутренних и внешних неблагоприятных факторов.

Внешними источниками повреждений традиционных линий связи на основе ОК с металлическими проводниками относятся:

- земляные работы сторонних организаций;
- опасные электромагнитные влияния;
- оползни, обвалы, мерзлотные явления, стихийные бедствия.

К внутренним источникам повреждений относятся:

- дефекты производства;
- ошибки, допущенные в ходе строительства, монтажа и эксплуатации кабельной линии.

По существующей статистике 90% всех отказов кабельных линий, вызванных внешними причинами, в том числе, земляными работами сторонних организаций – более 50%.

Трудность ремонтных работ заключается в отсутствии внешних признаков повреждений наружных элементов конструкции ОК, что увеличивает временные затраты на работы по определению места обрыва ОБ и следовательно восстановления ВОЛС. Кроме того, при ремонте происходит значительный (до 0,4 дБ на два дополнительных стыка) рост затухания. При определенном числе обрывов суммарная величина дополнительных потерь может превысить эксплуатационный запас регенерационного участка по затуханию.

Рассмотрим особенности измерений МОР, обусловленных погрешностями измерительных приборов и методическими погрешностями, определяемыми методом измерения и ошибками, возникающими вследствие неверного учёта различных факторов, влияющих на результат измерения.

В измерении оптоволоконных кабелей и узлов различают две категории задач: промышленный и эксплуатационный анализ. Последний связан с определением технического состояния оптического кабеля (ОК) для предупреждения и устранения повреждений. Для этого требуется с высокой точностью определять местонахождение и характер неоднородностей ОК.

Наиболее эффективно измерения этого вида осуществляются с помощью универсального прибора – оптического рефлектометра во временной области (OTDR). В основе измерений лежит метод обратного рассеивания (МОР). Полученные результаты представляются в визуальной форме на рефлектограмме. Расстояние до любой точки ОК определяется по измерению интервала времени между моментом посылки зондирующего импульса и регистрацией импульса обратно рассеянной мощности. Дальность обнаружения неоднородности идентифицируется по формуле:

$$l = \frac{c \cdot t}{2} \cdot \frac{\sqrt{(\Delta t)^2 + (1/\Delta f)^2}}{t \cdot \Delta n + n \cdot \Delta t}, \quad (15)$$

где: c – скорость света;

Δt – длительность импульса;

t – временной интервал между импульсами;

Δf – ширина полосы пропускания предусилителя;

n – показатель преломления;

Δn – изменения показателя преломления.

Основной задачей рассматриваемого вида измерений является установление локализации неоднородности. Для ее решения необходимо знать факторы, влияющие на погрешность измерения расстояния и способы их уменьшения.

Погрешности измерения МОР с помощью OTDR можно разделить на четыре группы.

Связанные с заданием параметров ОК, которые приводятся в справочных данных. Эта группа погрешностей неустранима и она обусловлена технологическим разбросом параметров.

Связанные со временем распространения сигнала по ОК. Разница между временем зондирующего и отраженного сигналов определяется дисперсионными искажениями.

Связанные с индикацией светового сигнала на дисплее OTDR. Они обусловлены конечным временем нарастания переходной характеристики индикаторного устройства, дробовыми шумами фотоприемного устройства (ФПУ) и тепловыми шумами каскадов стробоскопического преобразования, а также нелинейностью амплитудной характеристики прибора.

Случайные погрешности.

Группы погрешностей 2 и 3 носят систематический характер, оцениваются количественно и алгоритмически могут быть уменьшены.

Инструментальные погрешности метода определяются погрешностью отсчёта по осциллограмме уровней измеряемого потока рассеивания, которая составляет $\pm (0,1...0,3)$ дБ, а также значений расстояний x_1 и x_2 . Для её уменьшения в некоторых приборах отсчёт значений этих величин осуществляется в цифровой форме с помощью встроенных в прибор специализированных микропроцессоров – курсоров.

Основные причины, влияющие на механизм излучаемых потерь:

Первая группа причин связана с условиями ввода излучения в ОВ, модового состава зондирующего импульса и частично с уровнем возбуждения направляемых мод высоких порядков. Наличие высших мод приводит к очень большому увеличению рассеянной мощности, если волоконный световод слегка изогнут. Данное обстоятельство может привести к ошибочному выводу о наличии в ОК рассеивающих центров.

Вторая группа причин определяется рассеиванием энергии из-за больших внутренних механических деформаций ОВ, которые могут существенно отличаться при измерениях ОВ, находящегося на барабане, в оптическом кабеле или после прокладки кабеля в грунт (после прокладки ОК в грунт и монтажа ВОЛС функция рассеивания мощности по длине кабеля может меняться).

Третья группа причин связана с дисперсией ОВ, которая должна быть пренебрежительно мала по сравнению с длительностью зондирующего импульса. При несоблюдении этого условия измеряемый на входе ОВ импульс обратного рассеивания расширяется, его амплитуда уменьшается, и оценка затухания по МОР даёт другое значение. Поэтому при измерении затухания многомодовых ОВ длительность импульса должна быть не менее 100 нс.

Выводы.

Таким образом, необходимо, чтобы условия проведения измерений соответствовали условиям нахождения этого ОВ в рабочем режиме. Только при идентичности данных условий получаемые результаты измерения могут быть достоверны. Это объясняется зависимостью большинства механизмов излучаемых потерь от ряда причин, определяемых условиями проведения измерений и эксплуатации ОВ и ОК.

Получены соотношения, позволяющие рассчитать основные параметры для оценки работоспособности ВОЛС и сигнал, обратного рассеивания на оптическом рефлектометре, выражение для расчета времени безотказной работы и расчет предотказового состояния ВОЛС.

Предложен алгоритм выполнения мероприятий при осуществлении контроля работоспособности и устранения повреждений в волоконно-оптической системе передачи.

Получено, что за счет выполнения контрольного тестирования увеличивается надежность работ по устранению повреждений в среднем на 5-8%, при этом экономия финансовых затрат, с учетом эксплуатационных расходов, составляет не менее 1,5 %.

Список литературы:

1. Оразымбетова А.К. Влияние среды на прирост потерь в кабеле // Процессы сближения и гармонизации систем образования Казахстана, США и стран Европы в ответ на вызовы глобализации мира. Казахско-Американский Университет, 2012, С. 246-251.
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: САЙРУС СИСТЕМС, 1999. 671 с.
3. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. М.: Радио и связь, 1988. 544 с.
4. Шикетанц Д. Теория измерений по методу обратного рассеивания в световодах // Зарубежная радиоэлектроника. 1981. № 6. С. 87-94.
5. Григорьянц В.В., Чаморовский Ю.К. Диагностика волоконных световодов и оптических кабелей методом обратного рассеивания // Радиоэлектроника. Т. 29. 1982. С. 47-79.
6. Барноски М.К., Персоник С.Д. Измерения в волоконной оптике // ТИИЭР. 1978. № 4. С. 75-83.
7. Теумин И.И., Гинзбург С.А. Допустимое число разрывов в оптическом волокне // ОМП. 1977. № 4. С. 27-29.

References:

1. Orazymbetova A.K. An influence of material on the cable loss growth // The processes of convergence and harmonization of systems of education of Kazakhstan, the USA and countries in Europe and responding to the challenges of globalization of the world. KAU, 2012. Pp. 246-251.
2. Ivanov A.B. Fiber Optics: components, transmission systems, measurements. Moscow, CYRYS SYSTEMS, 1999. 671 p.
3. Grodnev I.I., Vernik S.M. Connection lines. 1988. 544 p.
4. Shiketants D. Theory of measurements by the method of inverse scattering in optical fibers // International Electronics, 1981. № 6. Pp. 87-94.
5. Grigoryants V.V., Chamorovsky Yu.K. Diagnosis of optical fibers and optical cables by backscattering // Electronics, 1982. Vol. 29. Pp. 47-79.
6. Barnoski M.K., Personik S.D. Measurements in Fiber Optics // Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1978. Vol. 66. № 4. Pp. 75-83.
7. Teumin I.I., Ginsburg S.A. The allowable number of discontinuities in the optical fiber // Soviet Journal of Optical Technology. 1977. № 4. Pp. 27-29.

© 2014, Кемельбеков Б.Ж., Оразымбетова А.К.
Оспанова Н.А.
Измерения и поиск дефектов в оптических
волокнах

© 2014, Kemelbekov B.D., Orazymbetova A.K.,
Osipanova N.A.
Измерения и поиск дефектов в оптических
волокнах