

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.317.783:681.782.473

КОВАЛЁВ
Дмитрий Владимирович

**МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ОПТОВОЛОКОННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

Автореферат
на соискание степени магистра
по специальности 1–45 80 01 Системы и сети инфокоммуникаций

Научный руководитель
кандидат технических наук,
доцент
БЕЛОШИЦКИЙ Анатолий
Павлович

Минск 2024

ВВЕДЕНИЕ

Современные ВОЛС характеризуются широкой номенклатурой, диапазонами, разными параметрами и характеристиками. Эти параметры и характеристики необходимо контролировать на всех этапах их жизненного цикла (разработка, строительство, эксплуатация). Для контроля этих характеристик необходимы СИ, которые обладают широкими функциональными возможностями, малыми погрешностями, высокой степенью автоматизации измерений. Большинству из этих требований удовлетворяет оптический рефлектометр МТР 6000. В свою очередь для его применения необходимо периодически контролировать метрологические характеристики (МХ) данного прибора, которые определяются при его поверке. Также для определения параметров и характеристик волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) с помощью этого прибора необходима разработка методик измерений, применение которых позволит обеспечить требуемую точность (неопределенность) измерений. Следовательно разработка методик определения МХ оптических средств измерений (СИ) и методик измерения параметров ВОЛС с их помощью является весьма важными и актуальными задачами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами

Тема диссертационной работы соответствует основополагающим тезисам указа Президента Республики Беларусь от 7 апреля 2022 г. №136 «Об органе государственного регулирования в сфере цифрового развития и вопросах цифровизации» а также утверждённой государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021-2025 гг. утверждённой постановлением Совета Министров Республики Беларусь №66 от 2 февраля 2021г. «О государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021-2025 годы».

Цель и задачи исследования

Целью настоящей диссертационной работы является разработка методик определения МХ средств измерений параметров оптоволоконных инфокоммуникационных сетей и методик измерений параметров этих сетей.

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие задачи:

– проведен анализ современных методов и СИ параметров оптоволоконных инфокоммуникационных сетей (ИКС);

– выбрано универсальное СИ, позволяющее измерять большинство параметров и характеристик ИКС и их компонентов, описано его устройство, принцип действия, МХ и порядок проведения измерений;

– разработана методика определения МХ выбранного СИ;

– разработаны методики измерения параметров и характеристик ИКС, а также методики оценки неопределенности этих измерений;

– проведено экспериментальное опробование разработанных методик.

Основные результаты работы:

– разработана методика поверки оптического рефлектометра МТР 6000;

– разработаны методики измерения параметров и характеристик ИКС;

– предложены алгоритмы обработки результатов экспериментальных исследований МХ МТР 6000, а также методики оценки неопределенности измерений параметров ИКС.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная методика поверки является основой для написания методик поверки оптических рефлектометров конкретных типов и исследования их метрологических характеристик. Разработанные методики измерения параметров ИКС с оценкой неопределенности этих измерений могут быть использованы в практической деятельности при строительстве и эксплуатации волоконно–оптических ИКС.

Личный вклад соискателя ученой степени

Содержание диссертации отображает личный вклад автора. Он заключается в обосновании методик определения МХ СИ параметров оптоволоконных ИКС, методик измерения параметров и характеристик этих сетей с оценкой неопределенности измерений, разработке алгоритмов поверки СИ, экспериментальному исследованию их МХ, обработке и анализе полученных результатов, формулировке выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация полученных результатов проводилось совместно с научным руководителем кандидатом технических наук, доцентом Белошицким А.П.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 59-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Информационная безопасность» – БГУИР (Минск, 17-23 апреля 2023г.), 60-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Информационная безопасность» – БГУИР (Минск, 22-26 апреля

2024г.) и опубликованы в материалах этих конференций. Результаты диссертационной работы планируется использовать в практической деятельности Могилевского филиала РУП «Белтелеком».

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти разделов с выводами по каждому разделу, заключения, библиографического списка.

Общий объем диссертационной работы составляет 120 страниц, из них 71 страница текста, 29 рисунков на 27 страницах, 36 таблиц на 42 страницах, список использованных библиографических источников (30 наименований на 3 страницах), список публикаций автора по теме диссертации (4 наименования на 1 странице), графический материал на 1 странице.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза диссертации Ковалёва Дмитрия Владимировича «Методики определения метрологических характеристик средств измерений параметров оптоволоконных инфокоммуникационных сетей» на корректность использования заимствованных материалов с применением ПО «AntiPlagiarism.NET» 28.05.2024 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертационной работы составляет 75 %).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование необходимости и актуальности разработки методик определения метрологических характеристик средств измерений параметров инфокоммуникационных сетей и методик измерения этих параметров.

В общей характеристике работы показана связь работы с приоритетными направлениями научных исследований, приведены цель и задачи исследования, личный вклад соискателя ученой степени, апробация результатов диссертации.

В первом разделе «Обзор и анализ современных методов и средств измерений параметров и характеристик оптоволоконных инфокоммуникационных сетей» описаны виды измерений и измеряемые параметры инфокоммуникационных сетей.

Приводятся результаты анализа современных методов измерения следующих параметров оптических волокон и оптических кабелей:

- затухания;
- оптической длины;
- отражений и неоднородностей в ОВ;
- частотной характеристики;
- измерение параметров ОВ на соответствие требованиям стандартов.

Приведено описание и характеристика современных средств измерений для измерения, указанных выше параметров.

Во втором разделе «Устройство и принцип действия оптического рефлектометра МТР 6000» рассмотрена структурная схема, метрологические характеристики и порядок работы с рефлектометром МТР 6000.

Оптический рефлектометр предназначен для измерения оптической длины и затухания строительных длин при входном контроле, измерение оптической длины и затухания линии при строительстве, измерение затухания разъемных и неразъемных соединений при строительстве и эксплуатации волоконно-оптических линий связи для обеспечения потребителей качественной электросвязью.

Длины волн излучения одномодового оптического рефлектометра (1310 ± 20) нм, (1490 ± 20) нм, (1550 ± 20) нм и (1625 ± 20) нм.

Длины волн излучения многомодового оптического рефлектометра (850 ± 20) нм и (1300 ± 20) нм.

Диапазоны измеряемых расстояний: 2; 5; 10; 20; 40; 80; 120; 160 и 240 км для одномодовых рефлектометров; 2; 5; 10; 20; 40; 80 км для многомодовых рефлектометров.

Рефлектометр допускает возможность установки значений длительности зондирующих оптических импульсов согласно таблице 1.

Таблица 1 – Значения длительности зондирующих импульсов

	Длительность зондирующих импульсов, нс.
Одномодовые рефлектометры	6, 12, 25, 100, 300, 1000, 3000, 10000, 20000
Многомодовые рефлектометры	6, 12, 25, 100, 300, 1000
В одномодовых рефлектометрах (модификация 2) длительность зондирующего импульса 20000 не отсутствует	

Пределы допускаемого значения абсолютной погрешности измерения расстояний в нормальных условиях составляют:

$$\Delta L = \pm(dl + dL + 3 \cdot 10^{-5}L),$$

где $dl = 0,5$ м; dL – разрешение (интервал дискретизации сигнала обратного рассеяния) определяемое установленным диапазоном измеряемого расстояния, величина dl может принимать значения 0,16; 0,32; 0,64; 1,3; 2,5; 5,1; 3,8 и 7,6 м; L – измеряемое расстояние, м.

В третьем разделе «Методика поверки оптического рефлектометра МТР 6000 параметров инфокоммуникационных сетей» приводится описание разработанной методики поверки (МП). МП включает в себя определение следующих метрологических характеристик рефлектометра:

- определение абсолютной погрешности измерения расстояний, диапазонов измерения расстояний;
- определение абсолютной погрешности измерения затухания;
- определение динамического диапазона измерения затухания;
- определение величины мертвой зоны по затуханию и величины мертвой зоны по отражению;
- определение относительной погрешности измерения мощности оптического излучения на длинах волн калибровки;
- определение относительной погрешности измерения относительных уровней мощности оптического излучения;
- определение мощности источника оптического излучения;
- определение нестабильности мощности источника оптического излучения.

Для определения этих МХ были выбраны следующие эталонные СИ:

- оптический генератор ОГ 2-1;
- оптический тестер ОТ 2-3А.

Определены значения поверяемых точек. Для каждой МХ приведены и описаны методики проведения измерений и проведена разработка алгоритмов обработки результатов измерений для оценки погрешности измерений.

В четвертом разделе «Методики измерений параметров оптического кабеля» приведены разработанные методики измерений следующих параметров оптического кабеля:

- измерение оптической длины на двух длинах волн для всей длины оптического волокна, с одной стороны, при помощи оптического рефлектометра;
- измерение километрического затухания на двух длинах волн для всей длины оптического волокна, с одной стороны, при помощи оптического рефлектометра;

– измерение общего затухания кабельного участка (от кросса до кросса) на рабочей длине волны с двух сторон для всей длины оптического волокна при помощи источника оптического излучения и измерителя мощности;

– измерение затухания на разъёмных и неразъёмных соединениях, оптической длины кабеля, расстояний до муфт, протяженность строительных длин, километрического затухания строительных длин для 100 % оптического волокна с двух сторон на рабочей длине волны при помощи оптического рефлектометра.

Для каждого параметра разработана и описана методика оценивания неопределенности измерений. При этом использовались следующие модели измерений:

– для оптической длины кабеля:

$$L_x = L + \Delta L + \Delta_o$$

где L_x – действительное значение оптической длины кабеля, м;

L – показание рефлектометра, м;

ΔL – поправка на погрешность рефлектометра, м;

Δ_o – поправка на ошибку оператора, м.

– для затухания в оптическом кабеле:

$$A_x = \frac{(A_A + \Delta_1 + \Delta_o) + (A_B + \Delta_1 + \Delta_o)}{2} + \Delta_{\text{вар}}$$

где A_x – действительное значение затухания на соединении, дБ;

A_A – показание рефлектометра в направлении «A – B», дБ

A_B – показание рефлектометра в направлении «B – A», дБ;

Δ_1 – поправка на погрешность рефлектометра вследствие близости результатов измерений, принимается одинаковой для двух серий наблюдений, дБ;

Δ_o – поправка на погрешность оператора, дБ;

$\Delta_{\text{вар}}$ – поправка на вариацию выходного сигнала, обусловленная зависимостью затухания от направления распространения входного сигнала, дБ.

– для коэффициента затухания оптического кабеля:

$$a = \frac{A_x}{L_x},$$

где a – коэффициент затухания, дБ/км.

A_x – действительное значение затухания на соединении, дБ;

L_x – действительное значение оптической длины кабеля, м.

В пятом разделе «Результаты экспериментальных исследований, полученные при опробовании разработанных методик измерений», приводятся результаты этих исследований.

Экспериментальные исследования проводились по методикам, изложенным в разделе 4.

В ходе проведенных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

– результат измерений оптической длины волокна номинальной длиной 4 км.:

$$L_x = (4,0008 \pm 0,0017) \text{ км}, k = 2, P = 0,95.$$

– результат измерений оптической длины волокна номинальной длиной 25 км.:

$$L_x = (23,8625 \pm 0,0047) \text{ км}, k = 2, P = 0,95.$$

– результат измерений оптической длины волокна номинальной длиной 29 км

$$L_x = (27,8645 \pm 0,0048) \text{ км}, k = 2, P = 0,95.$$

– результат измерений затухания в оптическом волокне длиной 25 км.:

$$A_x = (4,52 \pm 0,27) \text{ дБ}, k = 2, P = 0,95.$$

– результат измерений коэффициента затухания ОВ длиной 25 км.:

$$a = (0,189 \pm 0,011) \text{ дБ/км}, k = 1,65, P = 0,95.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе проведен анализ современных методов и средств измерений, используемых в сетях и системах инфокоммуникаций. Описаны основные измеряемые параметры и характеристики методов измерений в сетях и системах инфокоммуникаций.

Рассмотрен принцип действия, структурная схема, режимы работы оптического рефлектометра МТР 6000, а также порядок работы с ним и его метрологические характеристики. Описанный прибор обладает широкими функциональными возможностями, позволяющими не только проводить измерения, а также проводить статическую обработку информации по проведенным измерениям, автоматический учет коррекции результатов измерения и обмен информации с внешними устройствами через интерфейс USB.

Приведена разработанная методика поверки оптического рефлектометра МТР 6000. При разработке методики поверки были определены основные метрологические характеристики, которые необходимо контролировать при поверке, а также значение поверяемых точек. Выбраны эталонные средства измерений, с помощью которых возможно контролировать эти метрологические характеристики. В разработанной методике поверки составлены и описаны схемы подключений средства измерений, а также алгоритмы обработки результатов измерений. Приведена методика поверки для оптического рефлектометра МТР 6000, в соответствии с Постановления Госстандарта №44 от 24 апреля 2021 года.

Приведены разработанные методики измерений оптической длины, затухания и коэффициента затухания с помощью оптического рефлектометра МТР 6000. Предложены и описаны методики оценивания неопределенностей измеряемых параметров.

Разработанная методика поверки носит универсальный характер и может быть использована на практике для поверки рефлектометров различных марок и производителей.

Разработанные методики проведения измерений параметров инфокоммуникационных сетей и методики оценки неопределенностей измерений этих параметров позволяют контролировать указанные параметры с требуемой точностью и достоверностью.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1-А. Орехов А.К., Ковалёв Д.В. Методика поверки оптического тестера ОТ-2-8 // «РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА» сборник материалов 59-я научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов 17–21 апреля 2023 года «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 17-23 апреля 2023 г., БГУИР, Минск, Беларусь: сборник материалов. – Минск, 2023. – С. 59-62.

2-А. Ковалёв Д.В., Орехов А.К. Методика выполнения измерений оптической длины линии (волокла) оптическим рефлектометром МТР 6000 // «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ» сборник материалов 59-я научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов 17–21 апреля 2023 года «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 17-23 апреля 2023 г., БГУИР, Минск, Беларусь: сборник материалов. – Минск, 2023. –С. 101-103.

3-А. Ковалёв Д.В., Орехов А.К. Методика определения абсолютной погрешности измерений расстояний оптическим рефлектометром МТР 6000 // «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ» сборник материалов 60-я научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов 22-26 апреля 2024 года «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 22-26 апреля 2024 г., БГУИР, Минск, Беларусь: сборник материалов. – Минск, 2024. –С. Принята к публикации.

4-А. Орехов А.К., Ковалёв Д.В. Методики выполнения измерений затухания оптических волокон и кабелей оптическим тестером ОТ-2-8 // «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ» сборник материалов 60-я научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов 22-26 апреля 2024 года «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 22-26 апреля 2024 г., БГУИР, Минск, Беларусь: сборник материалов. – Минск, 2024. –С. Принята к публикации.