УДК 62-799

Е. Г. КЛЁНИН, П. Е. БЕКИШ. А. А. КАЛИНОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТОВОЛОКОННОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ ДЛЯ ПОВЕРКИ ФАЗОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ**

В работе рассмотрены основные трудности, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации поверочного стенда на основе оптоволоконной линии задержки, предложены возможные пути их решения.

Под метрологические лаборатории редко отводятся площади, достаточные для определения характеристик дальномеров на больших расстояниях. Это приводит к необходимости оснащения измерительного полигона на площадях сторонних организаций, что влечёт за собой организационные и транспортные расходы.

Решением этой проблемы может послужить создание поверочного стенда, в котором изменение сигнала дальномера, соответствующее большим расстояниям, имитировалось бы при помощи прибора, габариты которого позволяли бы разместить его в обычной лаборатории. Подобное устройство можно реализовать двумя способами:

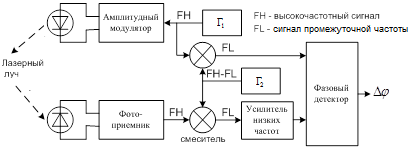
* Искривляя траекторию лазерного луча, чтобы при большом фактически пройденном расстоянии он не выходил за пределы поверочного стенда;
* На основе полученного от дальномера сигнала генерировать выходной, идентичный отраженному от удалённого препятствия.

Идея использования оптоволоконной линии задержки не нова, однако поиск в сети показал, что на основе данного подхода нет фактически реализованных устройств, хотя имеется работа, в которой был собран прототип подобного стенда и проведены некоторые эксперименты с ним [1]. Удалось найти единственное устройство, которое, по-видимому, работает по принципу имитации отражённого импульса средствами электроники – VRS Симулятор расстояния для лазерных систем кампании CI‑Systems – которое симулирует расстояние с точностью ±2м в диапазоне 100м – 40км. Разрешение и точность дальности данного прибора делает его непригодным для поверочных испытаний дальномеров в РБ на малых расстояниях [2][3].

Принцип работы фазового дальномера заключается в следующем: испущенный световой луч модулируется по интенсивности периодическим сигналом (порядка 100-500МГц); отражаясь от препятствия, свет возвращается в приёмную часть устройства, где после усиления и фильтрации преобразуется во второй сигнал, разность фаз с исходным у которого , где это расстояние до отражающего препятствия. Разность фаз в дальнейшем преобразуется в значение длины.

Рисунок . Функциональная схема измерительного блока фазового дальномера (без учёта цепи усиления и обработки входного сигнала). [4]

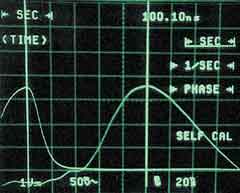
Преимуществом фазового способа по отношению к прямому измерению времени возврата отраженного импульса заключается в возможности применения дешёвых и конструктивно простых аналоговых схем для преобразования периодических сигналов. Время‑амплитудные преобразователи достаточной точности (1 мм свет проходит за время ~3.4 пс) стоят существенно дороже.



При прохождении света через оптоволокно дальномер будет регистрировать оптическую длину пути: , где – физическая длина, – показатель преломления волокна. Деление на 2 возникает вследствие того, что в обычных условиях луч проходит удвоенное расстояние: до препятствия и обратно.

Исходя из данной зависимости, а также из общих соображений, разработку стенда можно разбить на следующие этапы:

**Определение степени искажения сигнала при прохождении через волокно.** Вследствие дисперсии форма сигнала, прошедшего через световод, неизбежно исказится. Задачей разработчика будет определить, можно ли пренебречь данными искажениями, а также учесть их характер при определении имитируемой длины. Так, например, если вернувшийся сигнал будет иметь форму, сильно отличающуюся от испущенного, не будет возможности определить, какая именно величина измеряется дальномером. По крайней мере, остаётся неясной процедура признания имитируемой длины достоверной в юридическом смысле (в рамках законодательной метрологии [5]), т.к. для дальномеров не существует методик поверки в условиях искажения сигнала. Тем не менее, на ожидаемых частотах модуляции ширина импульсов существенно выше ожидаемых искажений даже на расстоянии нескольких километров. Более того, остается возможность выбора волокна с низкими значениями дисперсии вблизи ожидаемого диапазона излучения.



**Разработка методики определения оптической длины оптоволокна.** Т.к. процедура поверки заключается в сравнении измеренного значения с эталонным, необходимо определить метод получения эталонного значения. К сожалению, свойства линии задержки будут неизбежно меняться со временем – при изменении температуры изменяется не только геометрическая длина оптоволокна, и конфигурация микро- и макроизгибов, что вызывает пьезооптические эффекты, изменяющие показатель преломления кабеля в целом. В таких условиях достоверно установить текущую оптическую длину проще всего путём прямого измерения, т.к. геометрические изменения в линии могут носить сильно выраженный случайный характер, что сделает невозможным их оценку на основе макроскопических параметров. Для прямого измерения фактически можно использовать дальномер, прошедший поверку, что даст на выходе эталонное значение с определённым допуском. Однако требуется учесть так же зависимость показателя преломления от длины волны, что делает необходимым предварительное измерение волны излучателя в поверяемом дальномере, чтобы произвести для неё пересчёт оптической длины пути. Зависимость показателя преломления для кварцевого стекла в диапазоне частот 0,2 – 2 мкм определяется уравнением Селлмейера: , точные значения коэффициентов для выбранного оптоволокна следует уточнять у производителя [7].

Рисунок . Пример искажения импульса при прохождении через оптоволокно. [6]

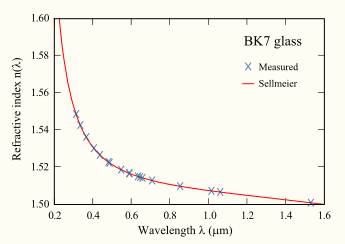


Рисунок . Типичный вид зависимости n(λ) для стекла. [8]

**Минимизация погрешности имитации длины.** Предварительные опыты показали, что деформация волокна ощутимо влияет на оптическую длину. Как уже было сказано ранее, свойства оптоволоконной линии с течением времени изменяются. Если эти изменения будут слишком быстрыми и существенными, случайная погрешность может оказаться выше допустимой для исследуемого дальномера. В связи с этим при разработке поверочного стенда потребуется определить меры, которые могут способствовать снижению изменчивости свойств оптоволокна. Это может быть термостатирование для устранения температурных колебаний, конструктивные меры для снижения влияния вибраций, фиксация оптоволокна клеем во всём объеме. Хотя в течении короткого промежутка времени случайные изменения ожидаются небольшие (порядка 1 мм/100 м [1]), для облегчения эксплуатации и повышения надёжности подобным мерам следует уделить внимание.

This article explains, which problems to be solved while developing a compact laboratory fiber optic standard length for laser rangefinders, and propose possible solutions.

1. Виноградов, Н. С. «Разработка методов метрологического контроля измерительных систем лазерного дальномера», Автореферат диссертации, 2012г.
2. Variable Range Simulator, <http://www.ci-systems.com/variable-range-simulator>
3. Посик по реестру СИ, <http://www.belgim.by/grsi_default/>
4. Денисюк Р. Э., Кузнецов. Д. Н. «Исследование фазового детектора лазерного дальномера для систем машинного зрения роботов», [ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/21012/1/Денисюк Кузнецов Исследование фазового.pdf](ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/21012/1/Денисюк%20Кузнецов%20Исследование%20фазового.pdf)
5. Speed of Light Apparatus, http://www.esssales.com/ifo/speedoflight.html
6. ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ «Об обеспечении единства измерений», с изм. и доп. на 4 января 2014, <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=v19503848>
7. Sellmeier formula, <https://www.rp-photonics.com/sellmeier_formula.html>
8. Sellmeier equation, https://en.wikipedia.org/wiki/Sellmeier\_equation

*Клёнин Егор Германович*, студент 4 курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, [*e\_g1gor@mail.ru*](mailto:e_g1gor@mail.ru).

*Бекиш Павел Евгеньевич*, магистрант физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, [*bekishpasha@gmail.com*](mailto:bekishpasha@gmail.com)*.*

*Калинов Александр Алексеевич*, студент 4 курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, [kalinovsahsa@yandex.ru](mailto:kalinovsahsa@yandex.ru).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).