

Лазерный интерферометр LS10

Руководство по эксплуатации



Содержание

<i>Содержание.....</i>	<i>2</i>
<i>Характеристика устройства.</i>	<i>3</i>
<i>Составляющие элементы устройства.</i>	<i>4</i>
<i>Способ применения лазерного измерителя.....</i>	<i>4</i>
Способ установки элементов измерителя.....	4
Подготовка устройства к работе.....	5
Процедура выравнивания оптического канала.....	6
<i>Технические данные.....</i>	<i>8</i>
<i>Дополнение – Основы интерферометрических измерений.</i>	<i>9</i>
Правило лазерного измерения расстояния	9
Методы подсчета интерференционных полос	10
Влияние окружающей среды на точность измерений.....	13
Ошибки лазерных измерительных систем	19

Характеристика устройства

LaserScale LS10 это лазерный интерферометр, предназначенный для применения в системах управления машинами вместо обычных магнитных измерителей. Применение лазерного интерферометра позволяет существенно увеличить точность работы ЧПУ или другой промышленной машины. Возможности лазерного интерферометра LaserScale LS10 можно с легкостью расширить для измерения в двух осях одновременно с помощью дополнительно поставляемых опций. Для компенсации влияния окружающей среды при измерениях лазерным интерферометром используются специальные корректоры температуры, давления и влажности, работающие непрерывно в реальном времени. Наиболее важной частью лазерного измерителя является стабилизируемый, двухчастотный гелево-неоновый лазер с рабочей длиной волны 633 нм.

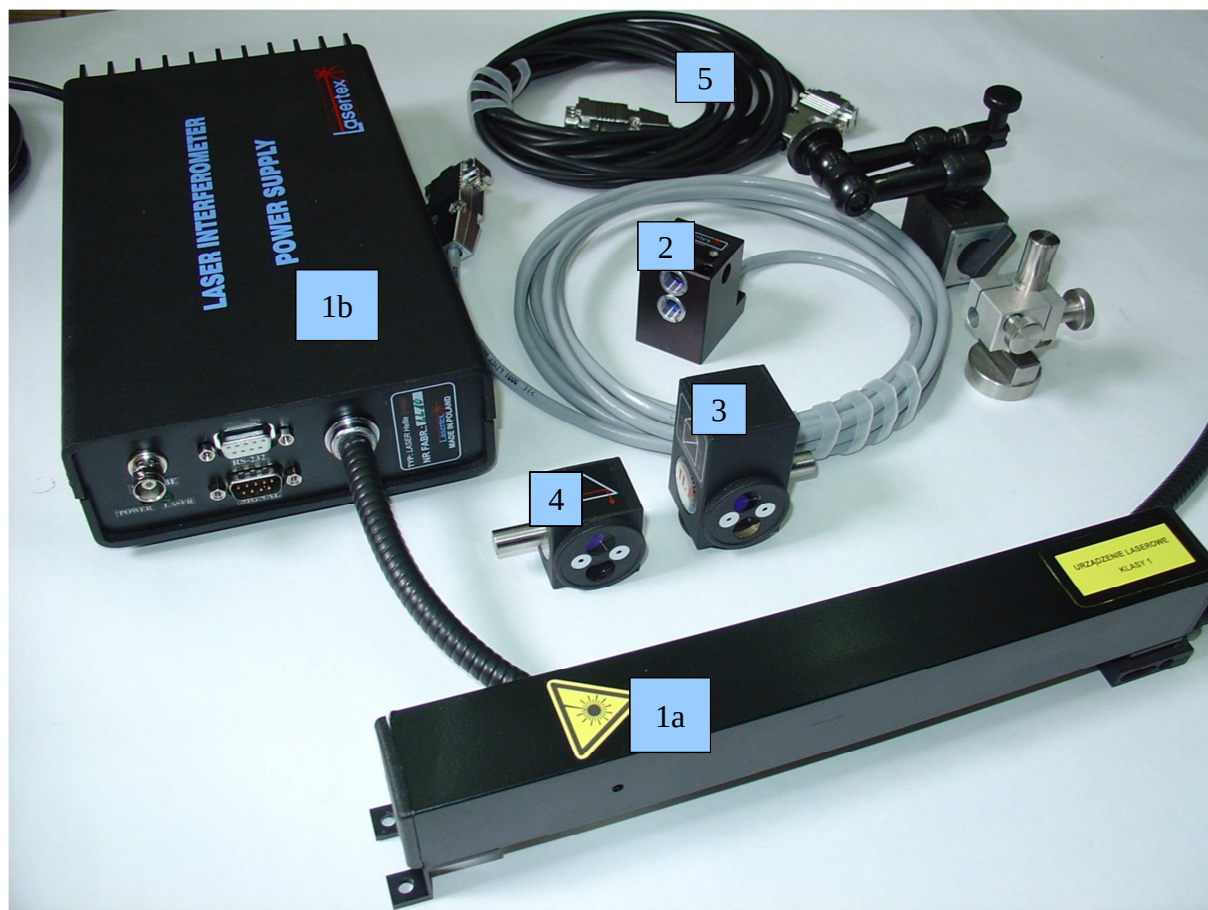


Рис. 1. Составляющие элементы лазерного интерферометра LS10.

Составляющие элементы устройства

Всё устройство состоит из (р. рис. 1):

- стабилизированной лазерной головки (1a) соединённой с блоком питания (1b),
- детектора (2),
- линейного интерферометра IL1 (3),
- линейного рефлектора RL1 (4),
- кабель, используемый для подключения устройства к порту USB компьютера (5),
- измерительной лавки с шаговым двигателем.

Способ применения лазерного измерителя

Способ установки элементов измерителя

Устройство измеряет перемещение линейного интерферометра IL1 и рефлектора RL1 относительно друг друга. При этом не важно, передвигается ли интерферометр, рефлектор или оба одновременно. Важно, чтобы направление движения обоих элементов был вдоль лазерного луча. На пути лазерного луча, кроме интерферометра и рефлектора, размещена система детектора (рис. 2), преобразующая в электрический сигнал интенсивность отбитого луча.

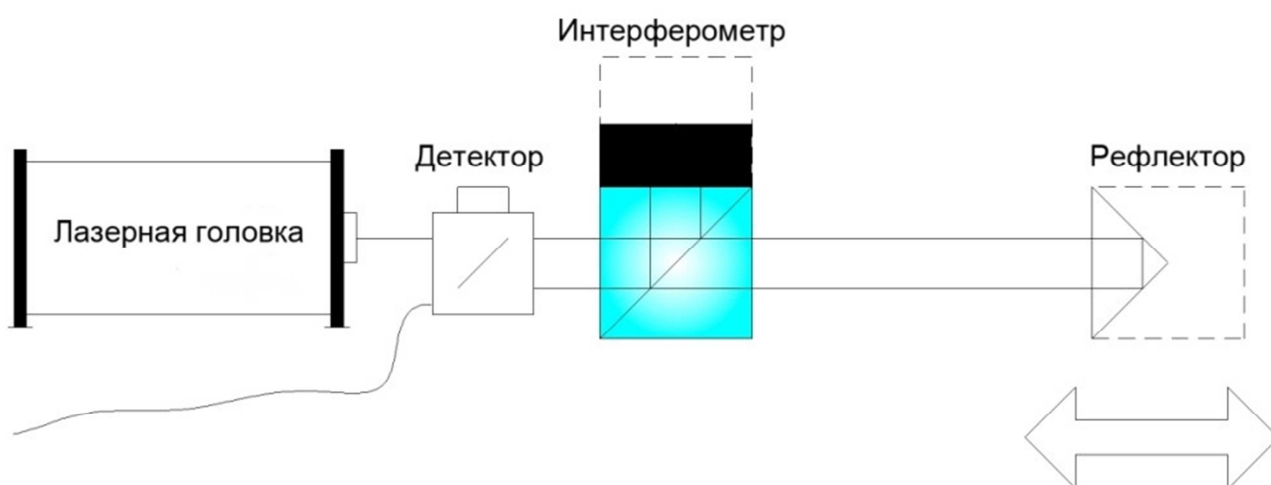


Рис. 2. Способ установки элементов лазерного измерителя в конфигурации измерения.

Во время установки элементов лазерного интерферометра на рабочем месте следует помнить о том, что лазерная головка и детектор могут быть размещены в произвольном месте на пути измерения, в то время как интерферометр IL1 должен быть размещён в таком месте, чтобы во время измерения рефлектор в одном из крайних положений был очень близко

возле интерферометра. Благодаря этому минимизируем ошибку мёртвой трассы (см. Дополнение).

Подготовка устройства к работе

Перед включением питания (выключатель размещён на задней панели блока питания) следует разместить лазерную головку в месте измерения, подключить кабель детектора в штыревой разъём DB9, а компьютер в гнездо USB (Рис. 3).



Рис. 3. Передняя панель лазерного устройства

В гнездо *Laser* следует подключить лазерную головку. **Крепление головки нужно прикрутить шурупами к креплению на корпусе!**

Два гнезда DB9 служат для подключения двух обслуживающих терминалов топливных зондов. Гнездо DB15 необходимо для подключения крайних датчиков.

На передней панели размещено 2 диода: горящий зелёный диод (READY) означает готовность лазера к работе (лазерная головка требует около 10 мин для получения стабильных условий работы), а свечение красного диода (PWR) сигнализирует готовность устройства к работе, т.е. наличие напряжения.

Процедура выравнивания оптического канала

Чтобы устройство правильно проводило измерения, оптический канал должен быть правильно настроен и выровнен. Это означает, что лазерный луч должен находиться параллельно относительно траектории движения рефлектора (или интерферометра).

В целях упрощения правильного выравнивания оптического канала в интерферометре и рефлекторе были установлены перегородки. Во время выравнивания канала перегородки следует установить так, чтобы луч падал на белое поле с маленьким отверстием (положение выравнивания). После окончания выравнивания перегородки следует переставить в положение работы (луч не может „лизать” перегородку).



Рис. 4. *Линейный рефлектор и интерферометр с перегородками установленными в так называемой точке работы*

Чтобы правильно настроить оптический канал следует выполнить следующие шаги:

- 1) Установить лазерную головку в соответствующее положение. Подсоединить детектор и компьютер. Подождать до окончания стабилизации лазера (включение зелёного диода LASER).
- 2) Расположить детектор в оптическом канале так, чтобы он был установлен на одной прямой с лазерной головкой. Луч лазера должен проникать в верхнее отверстие детектора от стороны провода. Во время разогрева лазера, луч после прохода через детектор может временами тускнеть.
- 3) Расположить интерферометр IL1 в оптическом канале. Разместить перегородку в положении выравнивания. Установить положение интерферометра так, чтобы его перед был параллельно передней части лазерной головки. При корректной установке интерферометра через отверстие в нижней перегородке часть пучка вернётся обратно к детектору (другая часть отбита рефлектором –рис. 2).
- 4) Расположить рефлектор RL1 как можно ближе к интерферометру. Установить перегородку в позицию выравнивания. Установить рефлектор так, чтобы отбитый луч падал в нижнее отверстие перегородки интерферометра (должен накладываться на луч отбитый интерферометром).
- 5) Передвинуть рефлектор в конец оптического канала. Если положение отбитого от рефлектора, и падающего на перегородку интерферометра, луча не изменилось, то это означает, что трасса выровнена верно. Если же положение луча изменилось, следует так манипулировать положением головки лазера, чтобы луч отбитый от рефлектора наложился на луч отбитый от интерферометра. В то же время следует быть внимательным, чтобы луч падающий на верхнюю перегородку интерферометра не менял своего положения (т.е. чтобы перегородка была полностью освещена).
- 6) Переставить перегородки в положение работы, быть внимательным при этом, чтобы не изменить положение элементов в канале.

Технические данные

Условия работы

Диапазон рабочей температуры	15 – 30 °C
Допустимые изменения температуры оптики во время измерения, обеспечивающие точность, указанную в технических данных	± 2 °C
Допустимая влажность воздуха	10 – 90 %
Питание	90-250 V, częstotliwość 50 Hz +/-10%
Выбор мощности	35 W (podczas wygrzewania), 10 W (po wygrzaniu)
Предохранитель в блоке питания лазерной головки	1 A
Произвольный компьютер с разъёмом стандарта RS-232C с установленной средой JAVA.	

Лазерная головка:

Тип лазера	двухчастотный HeNe лазер с стабилизацией частоты облучения	
Время разогрева	около 10 мин	
Длина волны облучения (вакуум)	632,990539 нм	
Точность определения длины волны (в вакууме)	± 0,02 ppm, калибровка по типу - сравнение с йодовым образцом	
Кратковременная стабильность частоты	± 0,002 ppm (1 час)	
Долговременная стабильность частоты	± 0,02 ppm (в периоде всего времени работы лазера)	
Выходная мощность лазерного облучения	250 мкВт	
Диаметр лазерного луча	8 мм	
Расстояние между лучами	12,7 мм (между лучом падающим и отбитым)	
Размеры лазерной головки	30x45x245 мм	
Масса нетто	1500 г	
Класс безопасности	Лазерное устройство класса 2 согласно с PN-91/T-06700	
Питание	12V/2 A i 5V/4A	

Дополнение – Основы интерферометрических измерений

Правило лазерного измерения расстояния

Ещё в древние времена измерения длины основывались на многократном подсчёте известной длины, т.н. образца. Сегодня для измерений используются приборы с более точной шкалой и ценой деления, составляющей напр. 10^{-3} или 10^{-5} м, благодаря чему разрешение (которое равняется цене деления), как и точность выполняемых измерений возрастают. В 1881г. Майкельсон А.А. построил прибор, называемый интерферометром, который в свою очередь позволял получать разрешение измерений равных длине волны света, т.е. 10^{-7} м. Схема и принцип работы представлен на рисунке 5.

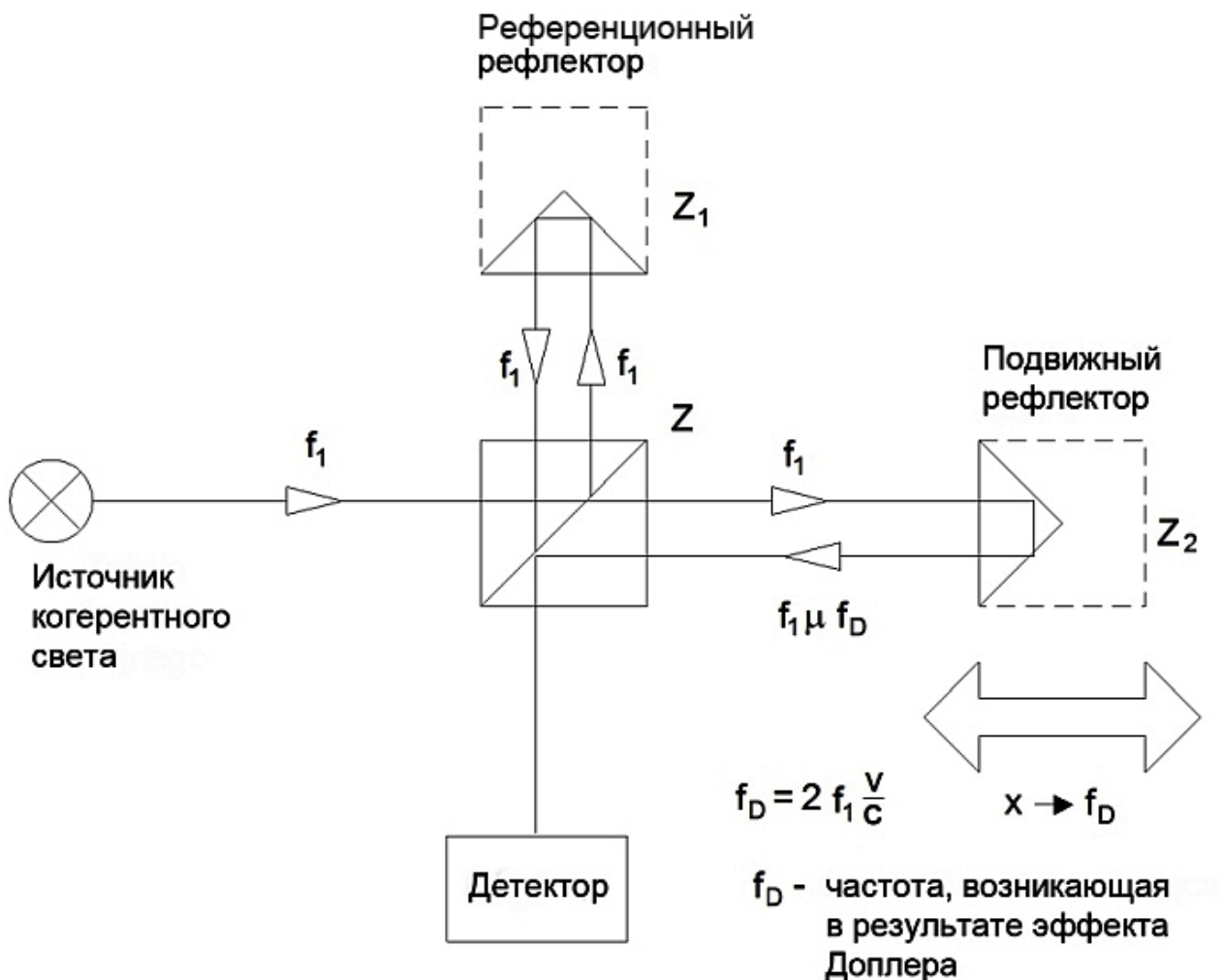


Рис. 5. Схема классического интерферометра Майкельсона.

Возьмём под внимание лазерный луч, который выходит из источника света и падает на пропускаемое свет зеркало Z . Это зеркало делит свет на два луча. Один по прохождению зеркала Z стремится в направлении подвижного зеркала Z_2 (измерительный луч); второй, после отражения, стремится к неподвижному зеркалу Z_1 (отражённый луч). Потом эти лучи отражаются от каждого из зеркал и возвращаются обратно по своим первоначальным каналам распространения, при этом оба луча в конечном счете падают на детектор. Поскольку эти лучи, как исходящие от одного источника света, согласованы между собой - будут между собой интерферировать. В следствии перемещения измерительного рефлектора, изменяется только длина пути света в измерительной области, из-за чего имеет место сдвиг фазы обеих волн относительно себя. Таким образом интенсивность наложенных на друг друга лучей подвергается модуляции, которая в процессе передвижения измерительного рефлектора возвращается каждые $\lambda/2$ длины волны. Благодаря подсчёту таких модуляций (назыв. интерферометрическими полосами) получаем значение передвижения измерительного плеча, согласно с формулой:

$$L = N * \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

N – количество импульсов,

λ - длина волны света.

Методы подсчета интерференционных полос

Как уже вспоминалось раньше, определение передвижения измерительного плеча требует подсчёта количества возвращающихся интерференционных полос. Другой проблемой является определения направления движения измерительного плеча. В настоящее время хорошо известны два метода позволяющие определить направление и передвижение. В зависимости от того используется в интерферометре одна или же две частоты света — выделяют гомодинный (рис. 6) и гетеродинный метод (рис. 7).

В первом методе используется пучок лазерного излучения, линейно споларизированного, с частотой f_1 . В случае использования двухчастотного лазера необходимо использовать поляризатор, исключаяющий дополнительную составляющую f_2 . Поляризационный делитель делит падающий на него свет, первоначально споларизированный под углом 45° , на два луча споларизированных перпендикулярно относительно друг друга - луч с горизонтальной поляризацией 0° и луч с вертикальной поляризацией 90° . Один из них направлен в референционную область, а другой в область измерений.

В следствии существования эффекта частотного сдвига передвигающегося источника (т.н. эффект Доплера), следует сдвиг частоты измерительного луча, отбитого от подвижного рефлектора. Отбитые лучи преобразовываются через четвертьволновую пластинку, которая меняет линейную поляризацию волны на угловую поляризацию, после чего детектируются. Регулируя положением поляризаторов 0° и 45° выбираем сдвиг фазы между лучами, получая сигнал синус / косинус, который нам позволяет определить и значения передвижения, и направление движения.

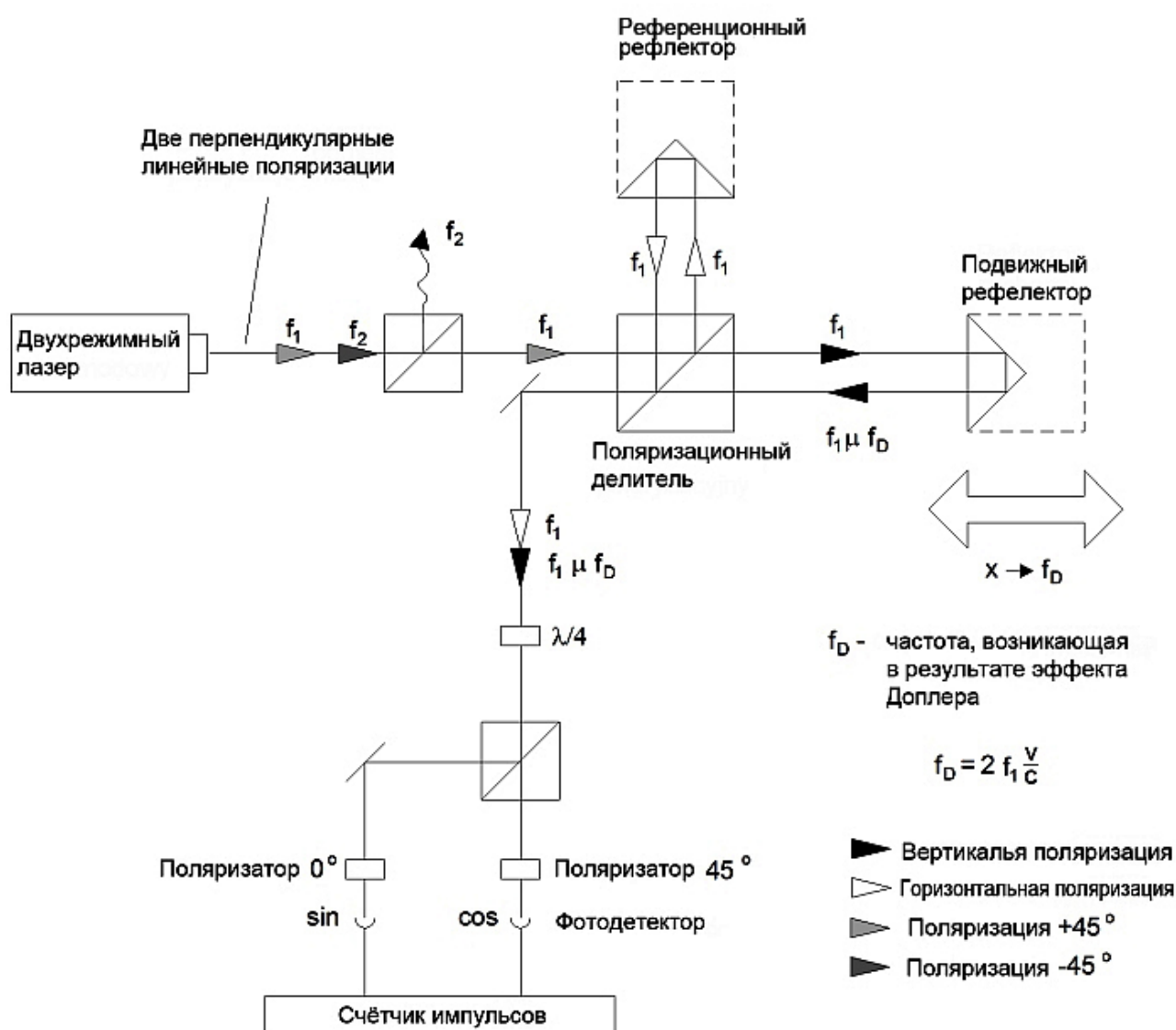


Рис. 6. Схема системы подсчёта импульсов гомодинным методом.

В гетеродинном методе используются две частоты лазерного излучения. Это требует использования двухчастотного лазера, напр. работающего по принципу эффекта Зеемана. На выходе зеемановского лазера возникают две волны с круговой поляризацией. Четвертьволновая пластинка $\lambda/4$ заменит её линейной поляризацией. Основное отличие, в сравнении с гомодинным методом, состоит в том, что в неподвижную область (референционный рефлектор) направлен сигнал другой частоты чем в область измерения. По-другому выглядит и система детекции – измерение происходит посредством сравнения разницы частот референционного канала и измерительного канала. С разницы этих частот получаем доплеровскую частоту f_D , а при её помощи находим искомый сдвиг.

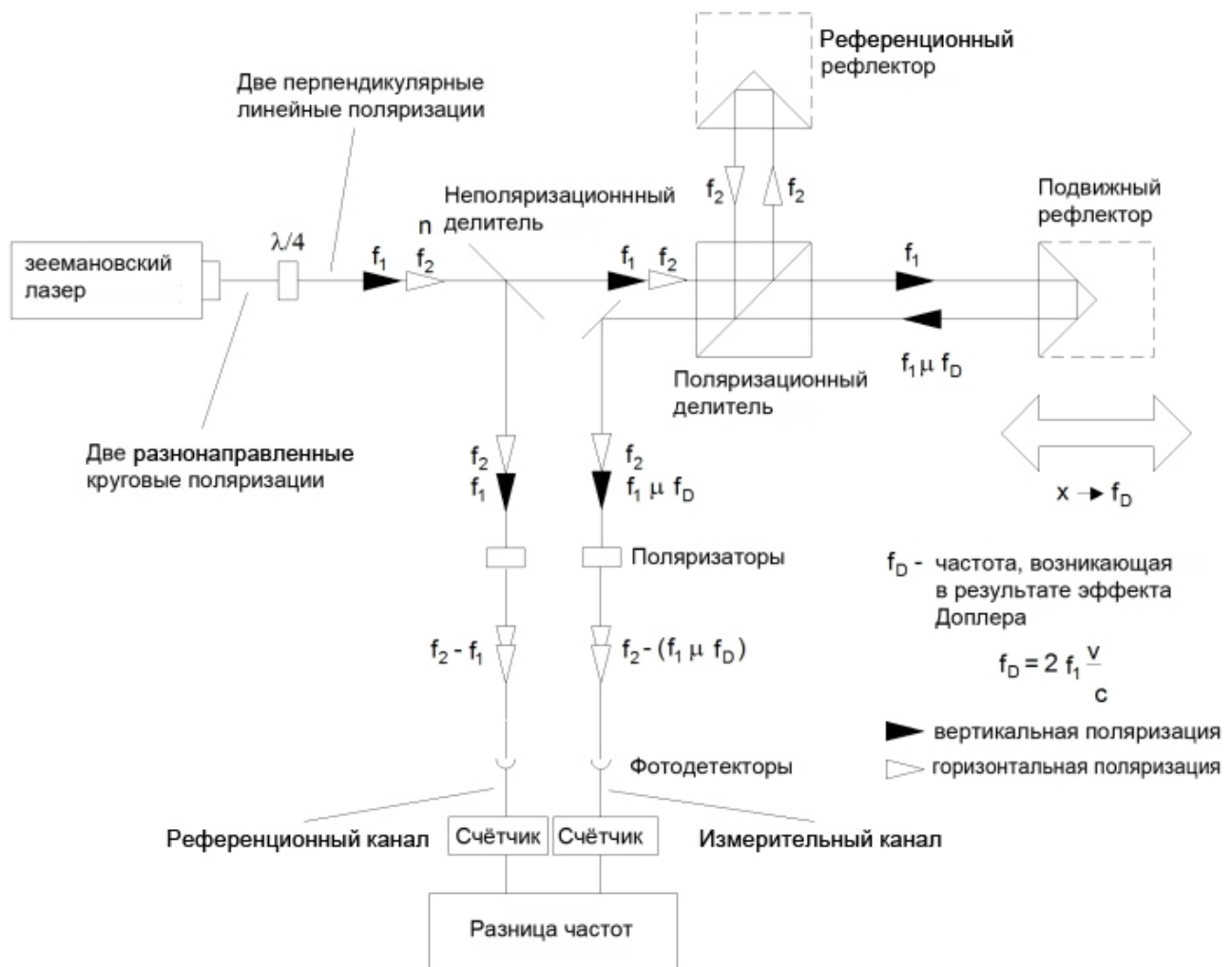


Рис. 7. Схема системы подсчёта импульсов гетеродинным методом.

Гетеродинный метод даёт правильные результаты только когда f_D не превышает значения

разницы частот $f_2 - f_1$ лазера. В практике эта разница, возникающая с доплеровского эффекта, равна около 1MHz, что ограничивает максимальную скорость передвижения измерительного плеча, в одном из направлений, до около 0.3 м/с. Очередной минус гетеродинного метода это обеих генерированных частот, в то время как в гомодинном методе вторая частота может быть произвольно использована, напр. для измерения перемещения во второй измерительной оси. В гетеродинном методе измерение второй оси при использовании одного источника тоже возможно, однако требует использование дополнительного делителя, что уменьшает где-то на 50% доступную мощность лазерного луча.

Влияние окружающей среды на точность измерений

Как следует из формулы (1) единицей интерферометрического измерения длины является длина волны света. В соответствии с формулой

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

она зависит частоты лазера f и скорости света v на пути измерения. Если бы измерение проводилось в вакууме, то $v = c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Длина волны света в среде отличающейся от вакуума - короче и описывается формулой

$$v = \frac{c}{n} \quad (3)$$

где: n – коэффициент преломления.

При менее точных расчётах принимаем n как постоянную и зависит только от типа среды. В реальности значение коэффициента преломления зависит от множества факторов. В отношении к волне света распространяющейся в воздухе наиболее важным является давление P , температура T и влажность H . Зависимость $n_{T,P,H}$ для воздуха с концентрацией CO_2 на уровне 300ppm, была определена Эдленом эмпирически и описана формулой

$$n_{T,P,H} - 1 = 2,8775 \cdot 10^{-7} * P \frac{1 + 10^{-6} * P * (0,613 - 0,00997 * T)}{1 + 0,003661 * T} + \Delta n \quad (4)$$

$$\Delta n = -3,033 \cdot 10^{-9} * H * e^{0,057627 * T} \quad (5)$$

С формул выше выводятся зависимости коэффициента преломления для выбранных параметров в нормальных условиях (T=293K, P=1000hPa, H=50%):

$$\frac{\partial n}{\partial T} = -0,93 * 10^{-6} \left[\frac{1}{K} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial P} = +0,27 * 10^{-6} \left[\frac{1}{hPa} \right]$$

$$\frac{\partial n}{\partial H} = -0,96 * 10^{-8} \left[\frac{1}{\%} \right]$$

Следует заметить, что наиболее критическим фактором является температура, потому как её изменение на 1K влечёт на уровень выше изменения значения коэффициента n чем изменение давления на 1hPa и на два уровня выше чем изменение влажности на 1%.

Ошибки лазерных измерительных систем

Ошибки в следствии изменения параметров окружающей среды

Причина наибольших ошибок интерферометрического лазерного измерения находится в конструкции самой обрабатывающей машине – в результате изменения температуры самой машины, обрабатывающих устройств, или обрабатываемого материала, значительно меняются её(их) габариты. В случае, напр. стали, изменение температуры части (детали) на 1°C вызывает её удлинение на 11.7µm на каждый метр её длины. Очень важным является точное измерение температуры подстилающей поверхности и учитывание её изменений в поправках. Не является это простым заданием по ряду причин: во-первых, детали с существенным влиянием на точность измерения(напр. обрабатываемый материал, или станина станка) создают проблемы с замером (напр. неоднородная температура станины, вращающийся обрабатываемый элемент); во-вторых замер деталей имеет временами характер который вызывает то, что изменение их длины является другое чем непосредственно указывающее с коэффициента температурной расширяемости – точное измерение только в том случае когда используются дополнительные инструменты CAD/CAM; в-третьих, измеряемый элемент не обязательно должен быть из стали, потому как корректирующая система должна иметь в таблицах коэффициенты температурной расширяемости и для других используемых материалов.

В предыдущим пункте представлена была формула Эдлена описывающая как длина волны света в атмосфере меняется в зависимости от температуры, давления, влажности и

химического состава окружающей среды. Глядя на то, что в интерферометрических измерениях длина волны света является основной единицей длины, её изменение влечёт появление существенных ошибок в измерениях. В приближении можно принять, что ошибка 1ppm (т.е. $1\mu\text{m}/\text{m}$) вызывает изменение температуры окружающей среды на 1°C , изменение давления 4hPa и изменение влажности на 30%.

Ошибка мёртвой трассы

Ошибка мёртвой трассы является ошибкой связанной с изменением условий окружающей среды во время измерений. Проще говоря, это ошибка которая появилась в результате отсутствия компенсации определённого отрезка лазерного луча и возникает когда меняются условия окружающей среды (влияя на длину волны) и когда изменяется температура материала на котором установлен интерферометр и рефлектор (способствуя изменением расстояния между ними).

Область мёртвой трассы измерительного лазерного луча - это расстояние между оптическим интерферометром и базой (или началом отсчёта) позицией измерения (L_1 на рисунке 8). Если нет движения между интерферометром и рефлектором, а условия окружающей среды изменяются, тогда длина волны изменится на всей длине пути ($L_1 + L_2$). Изменение значения поправки коэффициента преломления вызовет в лазерной системе коррекцию только расстояния L_2 . Поправка не будет взята во внимание в области мёртвой трассы L_1 . Таким образом лазерная система мнимо передвинет базовую точку (точку отсчёта).

В дополнение к передвижению нуля в следствии изменения условий окружающей среды, похожая проблема появится когда изменится температура станины станка. При возрастании этой температуры изменится промежуток между интерферометром и рефлектором. Подобно к тому что описано выше, если система учтёт поправку связанную с изменением температуры подстилки, будет скорректировано изменение на длине L_2 . Изменение на длине L_1 не будет замечено вызывая мнимое передвижение базовой точки (точки отсчёта).

Ошибка мёртвой трассы становится всё более важна, если увеличивается расстояние между интерферометром и нулевой точкой. Эта ошибка носит особенно острый характер в системах, в которых интерферометр уложен в один корпус с лазером, в этом случае, из-за разных причин, возникают большие трудности с минимизированием мёртвой трассы.

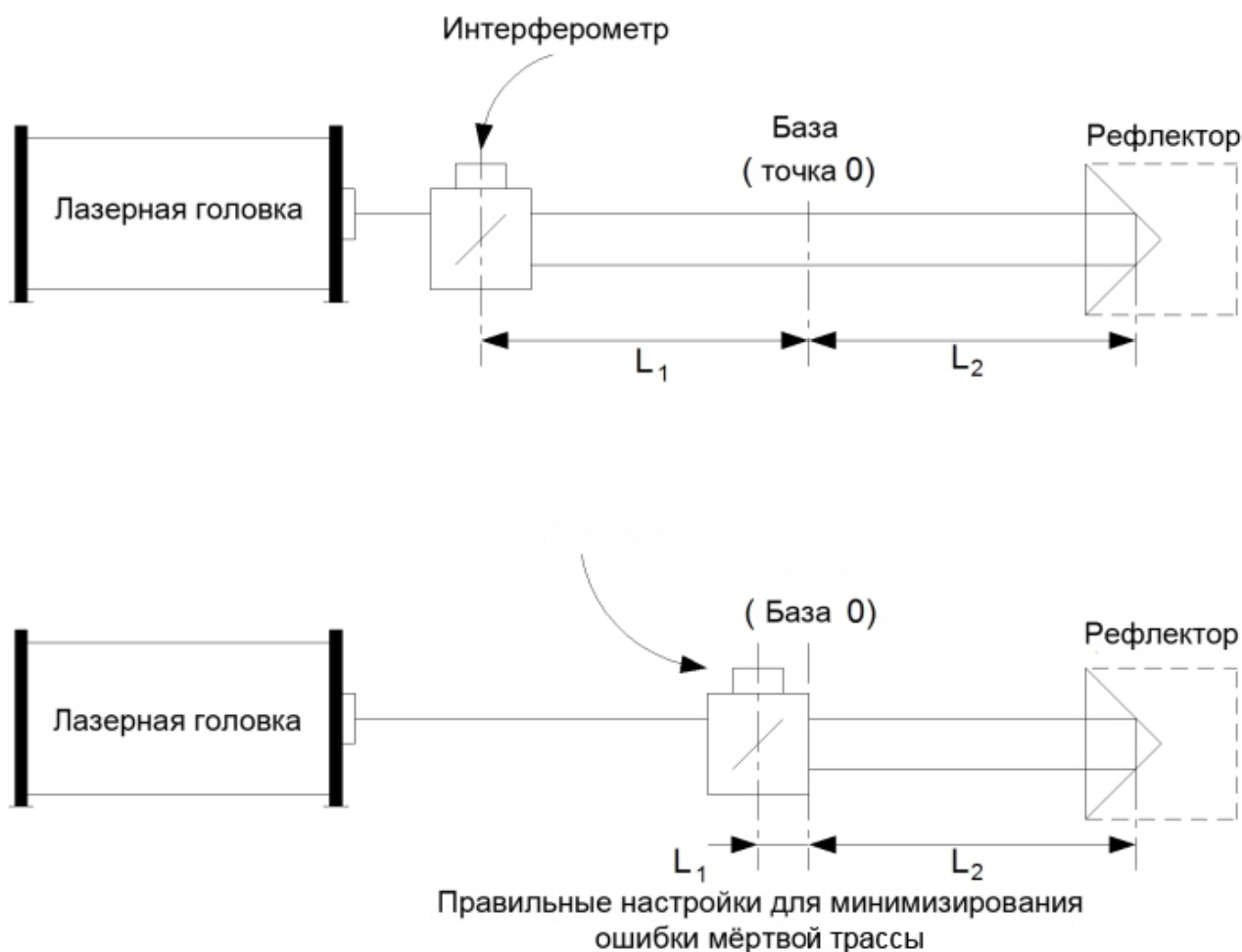


Рис. 8. Иллюстрация появления ошибки мёртвой трассы. Объяснение в соответствующем разделе.

Ошибка косинуса

Распараллеливание (расстройка) пути лазерного луча от оси движения обрабатывающего инструмента влечёт расхождение между измеренным расстоянием и фактически пройденным расстоянием. Эта ошибка расстройки известна под названием ошибки косинуса, где величина этой ошибки пропорциональна к углу между распараллеливаемыми: лазерным лучом и осью движения.

Когда луч лазерного излучения не параллелен оси движения, ошибка косинуса влечёт, что измеренное расстояние будет меньше чем фактическое расстояние (рис. 9).

Если в качестве рефлектора используется плоское зеркало, лазерный луч должен быть перпендикулярен к этому зеркалу чтобы был параллелен. Если машина меняет положение от А к В, лазерный луч останется перпендикулярен к плоскости зеркала, но при этом будет перемещаться по его поверхности. Замеренное измерительной системой расстояние L_{LMS} будет меньше от фактически пройденного обрабатывающим инструментом пути L_M согласно с зависимостью

$$L_{LMS} = L_M * \cos \Theta \quad (6)$$

Зависимость (6) обьязывает так же, если вместо рефлектора используется зеркальная призма.

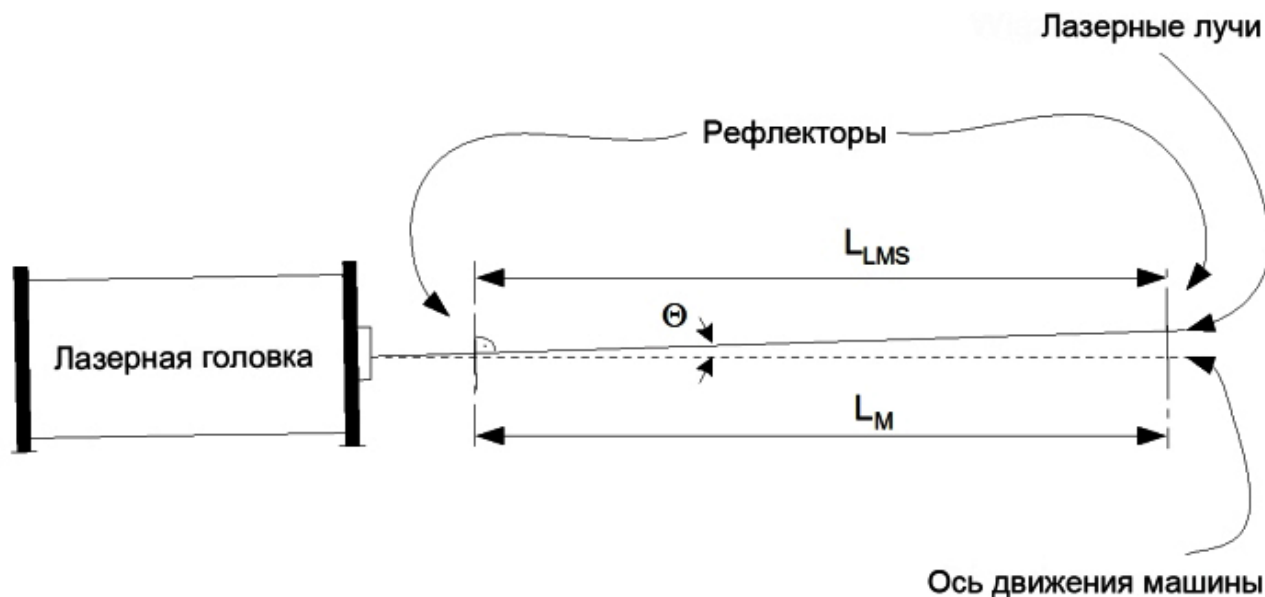


Рис. 9. Расстройка луча как причина появления ошибки косинуса.

Единственным способом исключения ошибки косинуса является проведение точной настройки системы перед началом измерения.

Ошибка Аббата

Когда обрабатывающий инструмент передвигается вдоль оси, леерные оградители исполняют две основные функции. Во-первых, удержание перпендикулярности движения; во-вторых, обеспечение безопасности устройства перед угловыми движениями (кручеными - рис. 10).

Ошибки возникающие из-за угловых движений непосредственно связаны с правилом Аббата, которое можно сформулировать так: максимальную точность можно достичь только тогда, когда образец измерений находится на линии с осью измеряемой части. Другими словами, ежели измерение передвижения проходит в месте отдалённым на определённое расстояние (tzw. offset Abbego) от фактической точки перемещения, то фактическое расстояние будет отличаться от измеренного расстояния. На каждую секунду углового передвижения по дуге появляющаяся при этом ошибка равна около $5\mu\text{м}$ 1м сдвига.

Избежание ошибки Аббата возможно только тогда, когда рефлектор передвигают вместе с обрабатывающим инструментом.

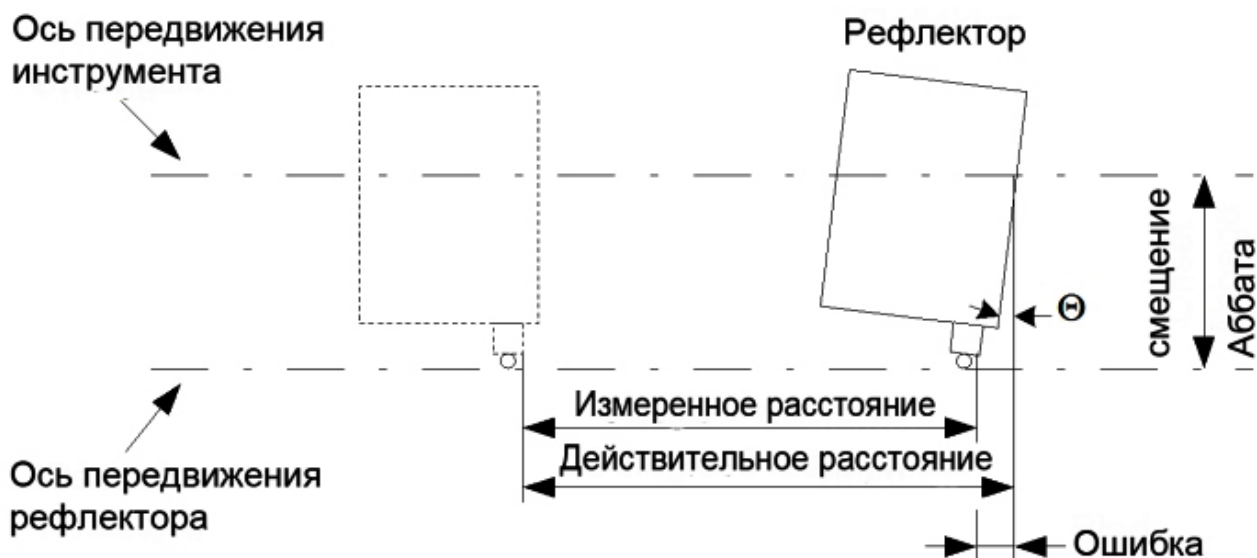


Рис. 10. Иллюстрация *ошибки Аббата*.

Ошибка стабильности лазера

Как уже не однократно вспоминалось, в интерферометрическом измерении длина волны лазера является образцовой величиной. Нестабильность лазера, или изменение генерированной длины волны во времени, переходит непосредственно на значение ошибки измерения, напр. Относительная стабильность лазера на уровне 1ppm (10^{-6}) вызывает появление на отрезке 1м ошибки 1μм.

Ошибка стабильности лазера очень существенна при измерениях в вакууме, т.е. когда не имеют значение ошибки вызванные изменением условий окружающей среды, и в случае использования лазеров с низкой стабильностью (особенно полупроводниковых). Стабильность, используемых в измерительных лазерных системах, газовых He-Ne лазеров на уровне 10^{-8} позволяет избегать ошибки лазерной стабильности в общем подсчёте ошибок.

Другие ошибки

В некоторых условиях заметное влияние на точность измерений имеют ошибки связанные с электронной частью системы. По большому счёту электронная часть служит для подсчёта и отображения импульсов. В такой системе могут появиться только случайные ошибки. Гораздо более грубые ошибки появляются при необходимости проведения определённых подсчётов, таких как напр. вычисление преобразований Фурье..

Вычисление ошибок измерительной лазерной системы

Чтобы показать какие из выше перечисленных источников ошибок наиболее влияют на

точность измерения, на рисунках 11 и 12 заиллюстрирован подсчёт ошибок системы



Рис. 11. Подсчёт ошибок при наиболее грубой погрешности кондиционирования системы, без компенсации влияния атмосферы.

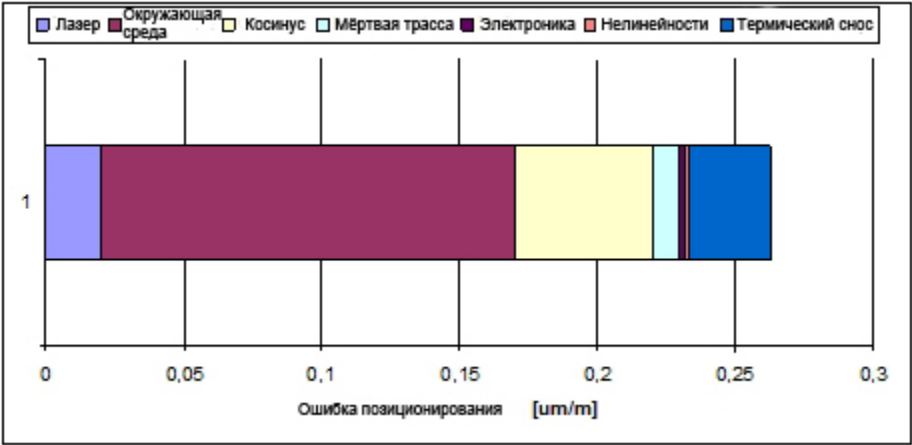


Рис. 12. Подсчёт ошибок при наиболее грубой погрешности кондиционирования системы, с компенсацией влияния атмосферы.