

Интерферометрический метод измерения прямолинейности и его практическое применение на станках с подвижным столом

М. А. В. Чэпмэн (M. A. V. Chapman), Р. Фергюссон-Келли (R. Fergusson-Kelly), У. Ли (W. Lee)

Введение

В настоящей статье подробно описаны основные принципы использования интерферометрических оптических элементов Renishaw для измерения прямолинейности. Кроме того, здесь разъясняются возможности применения таких оптических элементов для измерения прямолинейности перемещения подвижного стола станка с особым вниманием к различию результатов измерений для разных схем с подвижным интерферометром прямолинейности или рефлексометром.

Обзор оптических элементов для измерения прямолинейности

На рисунке 1 показана типовая схема измерения прямолинейности оси X в горизонтальной плоскости на станке с подвижным столом. Основные компоненты:

- лазерный излучатель (показан установленным на штативе);
- интерферометр прямолинейности (показан закрепленным на шпинделе);
- рефлексометр прямолинейности (показан установленным на подвижном столе).

При перемещении стола в указанном стрелкой направлении (по оси X) лазерный излучатель и оптический элемент измеряют малейшее отклонение перемещения стола от идеальной прямой по горизонтали (в поперечном направлении). На рисунке 2 в увеличенном масштабе показаны оптические элементы и траектория лазерного луча между ними.

В качестве альтернативы можно измерить отклонение от идеальной прямой по вертикали (прямолинейность в вертикальной плоскости), выполнив повторное измерение после поворота интерферометра прямолинейности и рефлексометра на угол 90° (см. рисунок 3).

Для простоты все приведенные далее в настоящей статье схемы и описания будут относиться к измерению прямолинейности горизонтальной оси (X) в вертикальной плоскости на станке с вертикальным шпинделем (Z). При этом описанные здесь принципы в точно также применимы и к другим компоновкам после соответствующего поворота координатных осей.

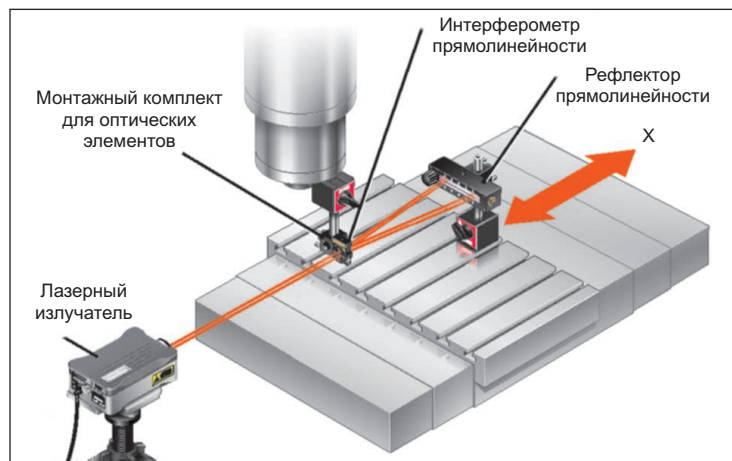


Рисунок 1

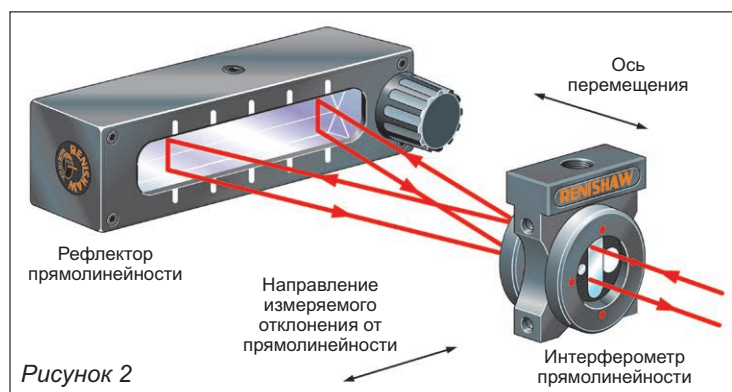


Рисунок 2

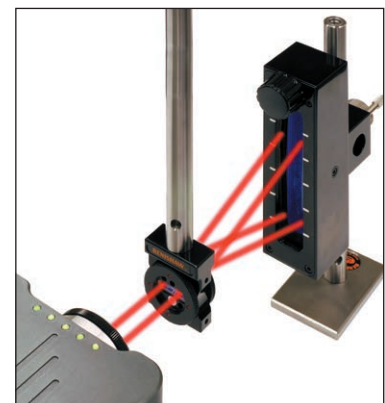


Рисунок 3

Для облегчения понимания сути измерения прямолинейности сначала рассмотрим, что происходит при использовании рефлектора в качестве подвижного оптического элемента в соответствии со схемой, показанной на рисунке 4. Луч из лазерной головки, достигнув интерферометра прямолинейности, расщепляется на два отдельных луча, расходящихся под углом 2θ друг к другу. (Механизм расщепления описан ниже в разделе под заголовком «Интерферометр прямолинейности в подробностях»). Два этих луча направляются к рефлектору прямолинейности, который отражает их в обратном направлении (механизм описан ниже в разделе под заголовком «Рефлектор прямолинейности в подробностях»). Вернувшись к интерферометру прямолинейности, лучи объединяются и направляются обратно к лазерной

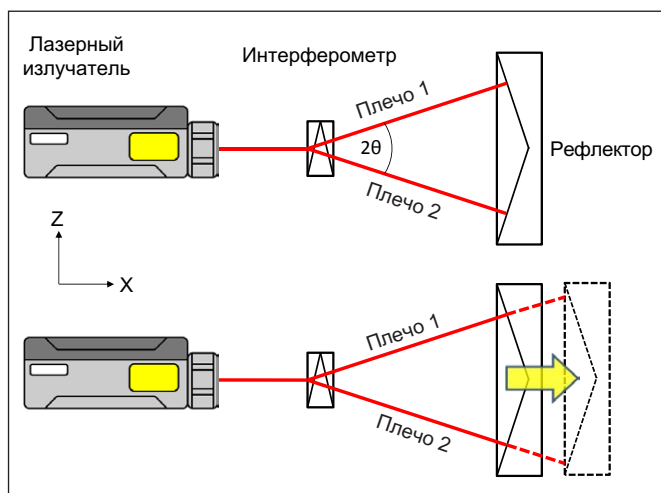


Рисунок 4

головке, где они накладываются друг на друга, формируя измерительный сигнал. Лазерная система измеряет отклонение от прямолинейности по относительному изменению оптических длин пути между двумя плечами интерферометра.

Если рефлектор прямолинейности удаляется от интерферометра в направлении оси X по идеальной прямой (направление обозначено на рисунке 4 желтой стрелкой, а новое положение — пунктирными линиями), то длина лазерных лучей как в плече 1, так и в плече 2 увеличивается на одинаковую величину, следовательно, результат лазерного измерения прямолинейности не меняется.

Однако если рефлектор прямолинейности перемещается по оси Z на расстояние S (направление обозначено на рисунке 5 желтой стрелкой, а новое положение — пунктирными линиями), то длина лазерного луча до рефлектора и обратно в плече 1 увеличивается на $2 \cdot S \cdot \sin(\theta)$, а длина луча в плече 2 уменьшается на $2 \cdot S \cdot \sin(\theta)$. В результате создается относительное изменение длин плеч 1 и 2, равное $4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$. В режиме измерения прямолинейности программное обеспечение лазерной системы преобразует относительное изменение длин пути, определенное при помощи лазера, в отклонение от прямолинейности, разделяя его на $4 \cdot \sin(\theta)$, что дает в результате отклонение от прямолинейности в вертикальной плоскости, равное S. Величина θ predeterminedена используемыми оптическими элементами для измерения прямолинейности (для больших или малых перемещений).

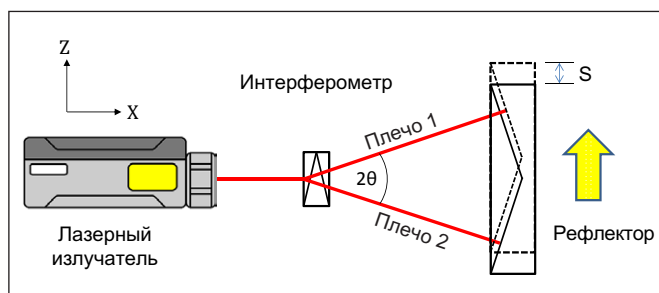


Рисунок 5

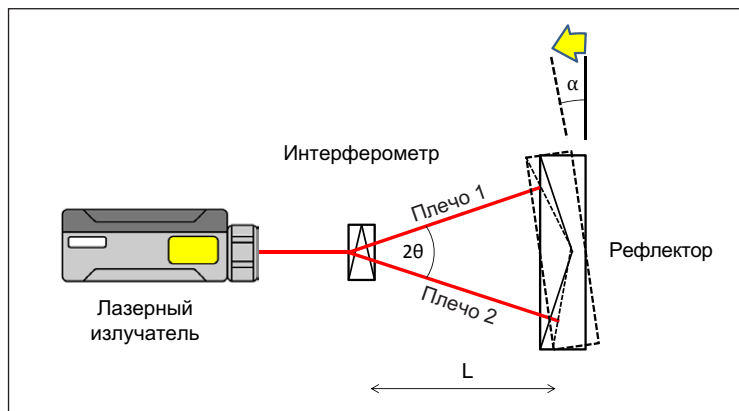


Рисунок 6

Теперь давайте посмотрим, что происходит в случае поворота рефлектора (по тангажу) на небольшой угол α , показанный на рисунке 6. (Обратите внимание на то, что для наглядности на рисунке угол сильно преувеличен). В этом случае точно так же длины лучей в плечах 1 и 2 изменились относительно друг друга. При малой величине угла α (что может быть вызвано погрешностью тангажа на подвижной линейной оси) видно, что длина пути

луча в плече 1 уменьшилась приблизительно на $2.L.\sin(\theta).\tan(\alpha)$, где L — расстояние между оптическими элементами. Длина пути луча в плече 2 увеличилась на $2.L.\sin(\theta).\tan(\alpha)$, что привело к полному относительному изменению длин пути в плечах 1 и 2, равному $4.L.\sin(\theta).\tan(\alpha)$. Таким образом, при делении программным обеспечением лазерной системы этого относительного изменения длин пути на $4.\sin(\theta)$ получается отклонение от прямолинейности, равное $L.\tan(\alpha)$. Следовательно, изменение угла рефлектора прямолинейности приводит к изменению результата измерения прямолинейности.

Представление о возможном «загрязнении» отклонения от прямолинейности изменением угла рефлектора часто наводит на мысль об обязательном использовании в качестве рефлектора прямолинейности неподвижного оптического элемента. Тем не менее это не так, поскольку в некоторых случаях такой эффект можно обернуть во благо.

Рассмотрим для сравнения вариант использования индикатора и прецизионной поверочной линейки (см. рисунок 7). Рефлектор прямолинейности и поверочная линейка ведут себя точно так же. В случае сдвига любого из них по оси Z индикатор или лазер незамедлительно регистрирует величину перемещения.

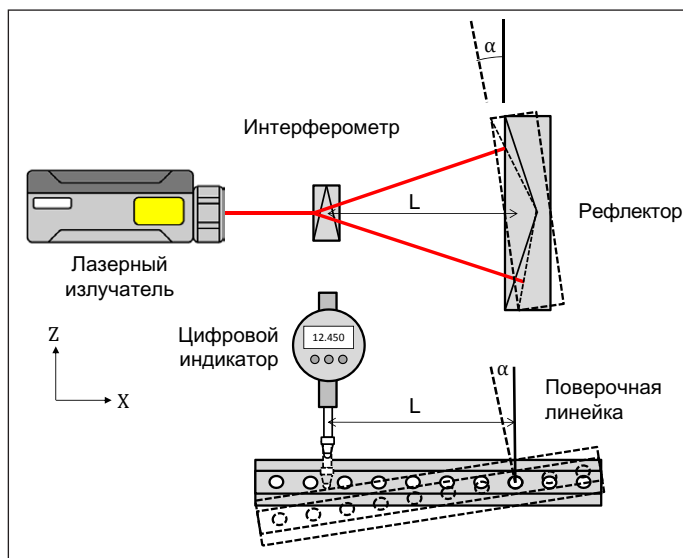


Рисунок 7

Если рефлектор отклоняется по крену на малый угол α относительно точки, расположенной на расстоянии L от интерферометра, то отклонение от прямолинейности изменяется на $L.\tan(\alpha)$. Аналогично, если поверочная линейка отклоняется по крену на угол α относительно точки, расположенной на расстоянии L от наконечника индикатора, показания индикатора изменяются на $L.\tan(\alpha)$. Таким образом, интерферометр прямолинейности можно считать аналогом индикатора, а рефлектор прямолинейности — аналогом прецизионной поверочной линейки.

Рефлектор прямолинейности, по сути, формирует в пространстве виртуальную поверочную линейку, направленную по его оси. Отклонения от этой виртуальной поверочной линейки впоследствии «показывает» интерферометр прямолинейности. Такая убедительная аналогия, наглядно показанная на рисунке 8, весьма полезна для принятия решения о том, какой из оптических элементов должен перемещаться, а какой должен быть неподвижен. Этот вопрос более подробно рассмотрен ниже.

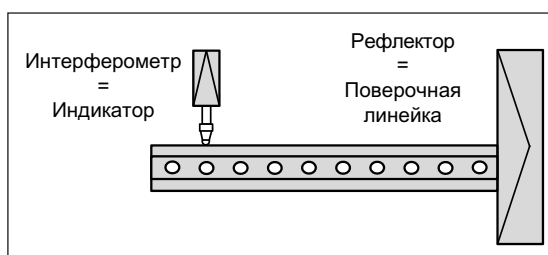


Рисунок 8

Рефлектор прямолинейности в подробностях

Простейший рефлектор прямолинейности, схема которого показана на рисунках 4–7, можно изготовить из двух плоских зеркал, расположив их под углом друг к другу. Однако показанное на рисунках 1–3 изделие Renishaw имеет более сложную конструкцию. В соответствии с рисунком 9 оно выполнено в виде цельного стеклянного блока с двумя преломляющими и двумя отражающими поверхностями. (Обратите внимание на то, что для наглядности на рисунке угол при вершине сильно преувеличен. В действительности у рефлектора прямолинейности для малых перемещений величина угла составляет около 177°).

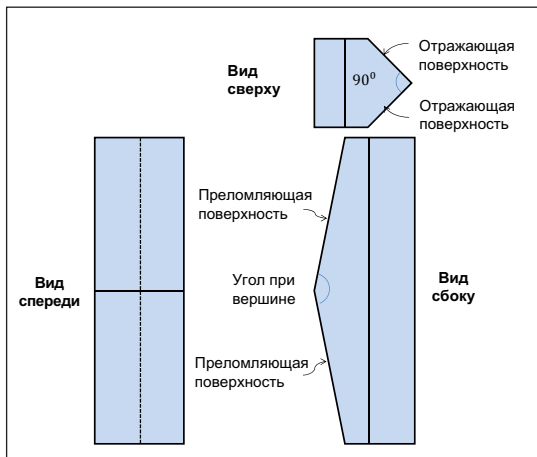


Рисунок 9

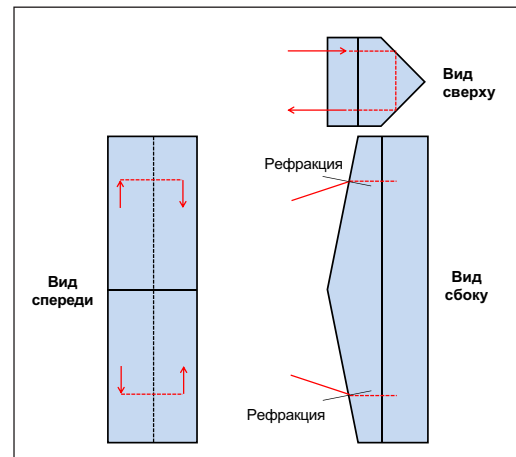


Рисунок 10

Траектории луча около рефлектора и внутри него показаны на рисунке 10. Проникая в стекло, лазерный луч отклоняется в сторону нормали из-за увеличения показателя преломления. Затем он отражается в обратную сторону под углом 90° от двух поверхностей и окончательно выходит из стекла, отклоняясь в сторону от нормали из-за уменьшения показателя преломления.

Несмотря на повышенную сложность, такая конструкция обладает рядом преимуществ перед простым комплектом из двух зеркал.

- Конструкция с обратным отражением гарантирует отсутствие взаимного перекрытия внешнего и отраженного лучей, облегчая отслеживание их траекторий при юстировке.
- К тому же использование обратного отражения позволяет обойтись без точной юстировки рефлектора по крену относительно его продольной оси, поскольку гарантирует возврат лучей к интерферометру. Кроме того, оно облегчает юстировку луча.
- Использование цельного стеклянного блока гарантирует стабильность размеров и механическую прочность.

Подробное оптическое моделирование указывает на то, что если сплошной рефлектор наклоняется на малый угол α относительно точки, расположенной в соответствии с рисунком 7 на расстоянии L от интерферометра, то отклонение от прямолинейности все равно изменяется на $L \cdot \tan(\alpha)$, как было описано выше. Так что стоит подумать о рефлекторе прямолинейности из цельного стеклянного блока еще более сложной конструкции для формирования в пространстве виртуальной поверочной линейки, направленной по его оси, как было описано выше.

Интерферометр прямолинейности в подробностях

Интерферометр прямолинейности (он же призма Волластона) представляет собой двоякопреломляющий кристалл из трех призм и показан на рисунке 11. В отличие от изотропных материалов с постоянным показателем преломления преломляющие свойства двоякопреломляющего материала зависят от ориентации осей его кристаллов и поляризации проходящего через них света.

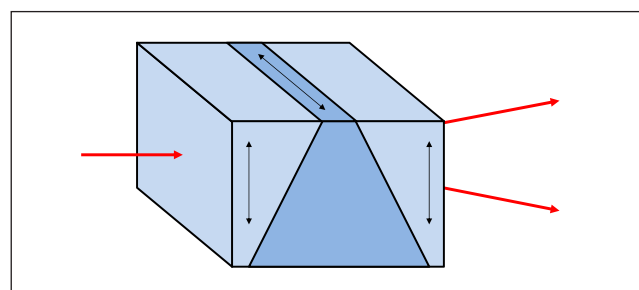


Рисунок 11

Свет, прошедший через такой материал, представляет собой две параллельно ориентированных линейно поляризованных волны, которые направлены перпендикулярно оптической оси кристалла. Один луч сталкивается с несколько большим показателем преломления и будет распространяться немного медленнее, в то время как другой сталкивается с меньшим показателем преломления и будет распространяться быстрее. Оптические оси двух внешних призм кристалла расположены вертикально, а оптическая ось внутренней призмы — горизонтально (обозначены на рисунке 11 двусторонними стрелками).

На рисунке 12 показаны траектории лучей внутри призмы Волластона. Обратите внимание на то, что для наглядности на рисунке циркулярно поляризованный входящий луч показан разделенным на два отдельных луча (обычно они совмещены), а углы расхождения луча сильно преувеличены.

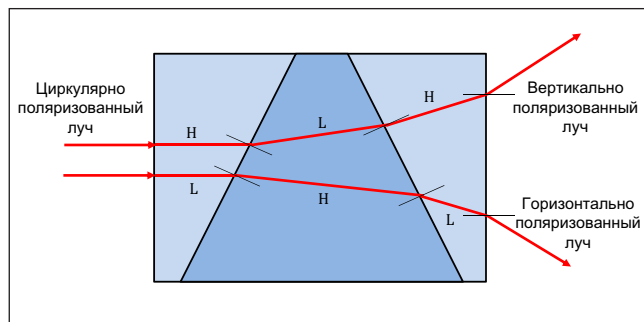


Рисунок 12

Циркулярно поляризованный лазерный луч непосредственно после столкновения с первой призмой двоякопреломляющего материала разделяется на два линейно поляризованных луча, один из которых вертикально поляризован (т. е. поляризован параллельно оси кристалла в первой призме). Второй луч горизонтально поляризован (т. е. поляризован перпендикулярно оси кристалла в первой призме). Из-за двоякопреломляющей природы материала вертикально поляризованный луч сталкивается с несколько большим показателем преломления (Н), чем горизонтально поляризованный луч, который сталкивается с меньшим показателем преломления (L), как показано на рисунке. Оба луча распространяются внутри первой призмы в одном направлении.

Достигнув плоскости сопряжения первой и второй призмы, вертикально поляризованный луч (верхний) испытывает уменьшение показателя преломления, в результате чего отклоняется в сторону от нормали. Между тем горизонтально поляризованный луч (нижний), достигнув этой же границы, испытывает увеличение показателя преломления, в результате чего отклоняется в сторону нормали. Вот в этой точке и начинается расхождение лучей.

Достигнув плоскости сопряжения второй и третьей призм, вертикально поляризованный луч испытывает увеличение показателя преломления, в результате чего теперь отклоняется в сторону нормали. Точно так же горизонтально поляризованный луч, достигнув этой же границы, испытывает уменьшение показателя преломления, в результате чего теперь отклоняется в сторону от нормали. Плоскость сопряжения второй и третьей призм наклонена в обратную сторону относительно границы первой и второй призм, поэтому расхождение лучей еще больше увеличивается.

В итоге лучи выходят из третьей призмы наружу, испытывая уменьшение показателя преломления, в результате чего оба еще больше отклоняются в сторону от нормали, а их расхождение также увеличивается. Оптические элементы для измерения прямолинейности изготавливают с жесткими допусками, в результате чего величина угла расхождения лучей (2θ), выходящих из призмы Волластона, соответствует эффективному углу рефлектора прямолинейности в пределах нескольких угловых секунд.

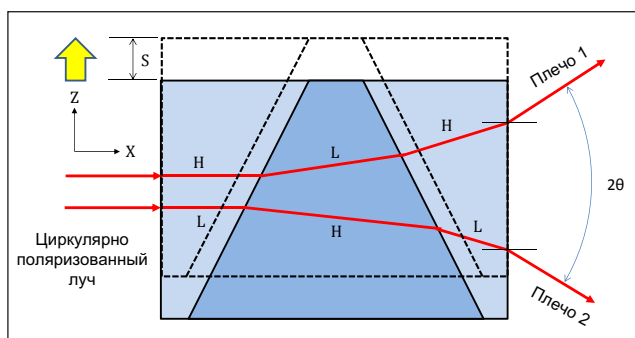


Рисунок 13

толщину материала, который он воспринимает как имеющий меньший показатель преломления (L), в то время как нижний (горизонтально поляризованный) луч преодолевает большую толщину материала, который он воспринимает как имеющий большой показатель преломления (Н), с соответствующим изменением оптических длин пути. Разница оптической длины пути через призму Волластона тоже отвечает за величину угла расхождения лучей 2θ , поэтому совершенно очевидно, что смещение призмы Волластона в сторону на расстояние S уменьшит оптическую длину пути верхнего луча (составляющего плечо 1 интерферометрического измерения) на

Дифференциальная рефракция внутри призмы Волластона, вызывающая отклонение лучей, — еще одна причина, позволяющая использовать оптические элементы для измерения прямолинейности. Давайте посмотрим, что происходит при перемещении призмы Волластона по оси Z на расстояние S в новое положение, обозначенное на рисунке 13 пунктирными линиями. Понятно, что верхний (вертикально поляризованный) луч преодолет большую

величину $2 \cdot S \cdot \sin(\theta)$, а также увеличит оптическую длину пути нижнего луча (составляющего плечо 2 интерферометрического измерения) на величину $2 \cdot S \cdot \sin(\theta)$. В результате образуется полное относительное изменение длин лучей в плечах 1 и 2, равное $-4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$. Программное обеспечение лазерной системы преобразует это относительное изменение длин пути в отклонение от прямолинейности, разделяя его на $4 \cdot \sin(\theta)$, что дает в результате отклонение от прямолинейности, равное $-S$. Обратите внимание на то, что при этом достигается точно такой же результат, что и при поперечном смещении рефлектора прямолинейности на расстояние S (см. рисунок 5), но только с обратным знаком.

Теперь давайте посмотрим, что происходит в случае наклона призмы Волластона на малый угол α относительно ее геометрического центра (для наглядности на рисунке 14 угол сильно преувеличен). Подробное оптическое моделирование траектории прохождения лучей через систему наглядно демонстрирует, что небольшие угловые перемещения призмы

Волластона не вносят существенных изменений в разницу оптических длин путей между плечами 1 и 2 (следовательно, и в результирующее отклонение от прямолинейности). И это еще раз подтверждает сходство поведения интерферометра прямолинейности с индикатором (на который также не влияют небольшие изменения угла).

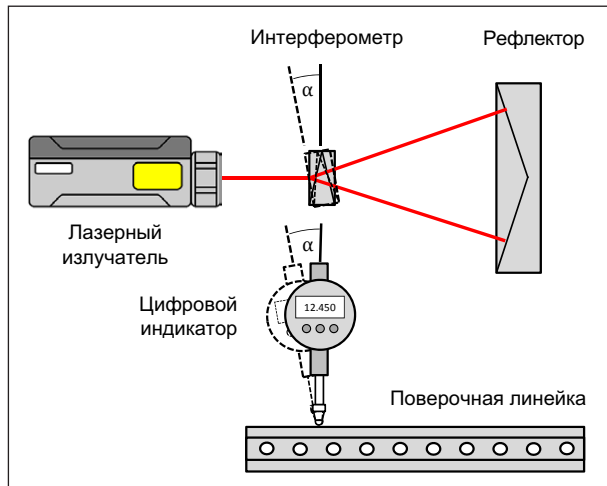


Рисунок 14

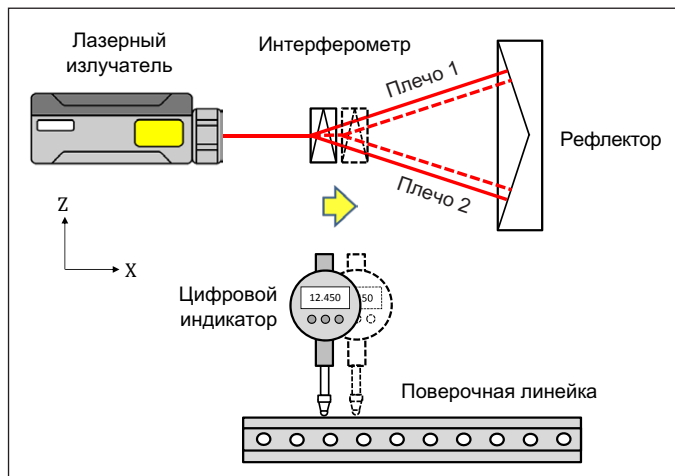


Рисунок 15

На рисунке 15 показано, что происходит при перемещении призмы Волластона в направлении оси X по идеальной прямой (направление обозначено желтой стрелкой, а новое положение — пунктирными линиями). Длина лазерных лучей как в плече 1, так и в плече 2 увеличивается на одинаковую величину, следовательно, результат лазерного измерения прямолинейности не меняется. И это снова соответствует поведению индикатора, перемещающегося вдоль выставленной поверочной линейки.

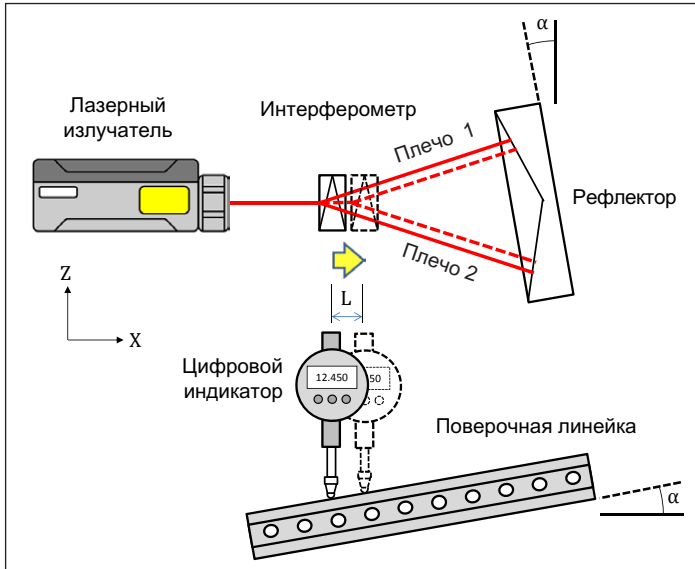


Рисунок 16

В заключение посмотрим, что происходит в случае перемещения призмы Волластона снова в направлении оси X по идеальной прямой, но в этот раз с рефлектором прямолинейности, слегка смещенным на малый угол α , показанный (с сильным преувеличением) на рисунке 16. При длине перемещения L результат измерения прямолинейности лазерным устройством изменится на величину $L \cdot \tan(\alpha)$. Обратите внимание на то, что смещение поверочной линейки на такую же величину точно таким же образом влияет на показания индикатора. Смещение рефлектора или поверочной линейки при

измерении прямолинейности относительно траектории перемещения вносит в измерение «ошибку уклона». Обычно программное обеспечение устраняет такую ошибку путем обработки данных по конечным точкам или методу наименьших квадратов. Тем не менее целесообразно минимизировать ошибку уклона (регулировкой поверочной линейки или рефлектора) для снижения чувствительности к погрешностям позиционирования по оси X и, в случае применения лазера, для гарантированного поддержания максимального уровня сигнала вдоль оси.

Влияние юстировки лазера

До сих пор наше исследование было направлено на поведение интерферометра и рефлектора прямолинейности, а также на сравнение их с индикатором и поверочной линейкой. При этом измерения лазерным интерферометром предусматривают третий компонент — лазерный излучатель. Проведенное углубленное исследование показало относительную важность местоположения лазерного излучателя и влияние различных отклонений на измерение прямолинейности.

Для начала рассмотрим простую ситуацию с перемещением лазерного излучателя по оси Z в отрицательном направлении на расстояние S, показанную на рисунке 17. Лазерные лучи переместились вниз поперек интерферометра на расстояние S точно так же, как это было при перемещении

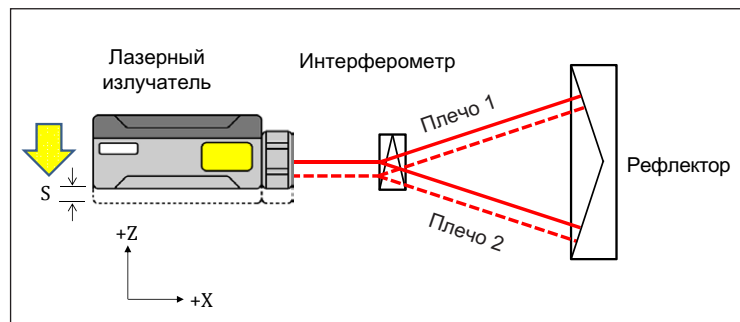


Рисунок 17

интерферометра вверх на расстояние S (см. рисунок 13). Значит, как и в прошлый раз, это перемещение приведет к относительному изменению длин лучей в плечах 1 и 2 поблизости от интерферометра, равному $-4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$. Но лазерные лучи еще и переместились вниз поперек рефлектора на расстояние S точно так же, как это было при перемещении рефлектора вверх на расстояние S (см. рисунок 5). Значит, это перемещение приведет к дополнительному относительному изменению длин лучей поблизости от рефлектора, равному $+4 \cdot S \cdot \sin(\theta)$. Два этих изменения равны между собой и имеют противоположный знак, поэтому взаимно компенсируются. Следовательно, параллельное смещение лазерной головки не влияет на результат измерения прямолинейности лазерным устройством.

Представление о том, что происходит при отклонении лазерного излучателя по крену на малый угол α (показан с сильным преувеличением на рисунке 18), не настолько очевидно, поэтому для дальнейшего исследования проводилось подробное оптическое моделирование. Результаты указывают на то, что небольшие угловые отклонения лазерного излучателя по крену не вносят существенных изменений в разницу оптических длин путей между плечами 1 и 2 (следовательно, и в результирующее отклонение от прямолинейности).

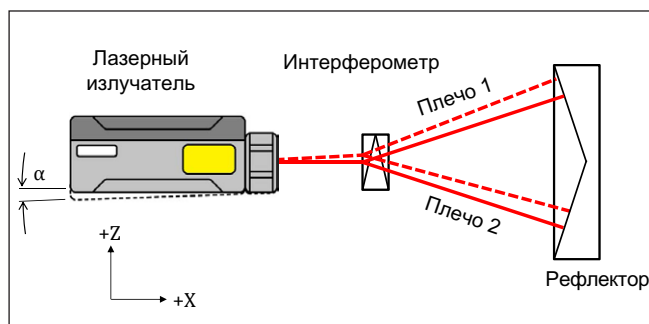


Рисунок 18

Однако моделирование различных комбинаций погрешностей юстировки указывает на то, что в случае неточной юстировки призмы Волластона по крену (относительно оси X) касательно рефлектора прямолинейности существует определенная чувствительность к рысканию (повороту относительно оси Z) лазерного излучателя (см. рисунок 19).

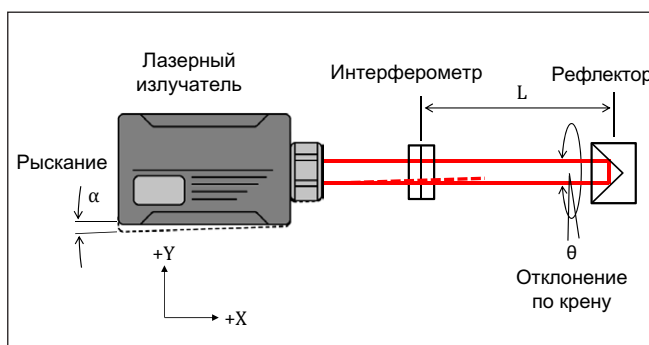


Рисунок 19

Моделирование указывает на то, что если смещение призмы Волластона по крену относительно рефлектора составляет θ радианов, лазерный излучатель при этом смещен по рысканию на α радианов, а расстояние между оптическими элементами равно L м, то изменение отклонения от прямолинейности (м) составляет $L \cdot \alpha \cdot \theta$. Эта формула применима к оптическим элементам, используемым для измерения прямолинейности и больших, и малых перемещений.

Изменение единиц измерения указывает на то, что если смещение призмы Волластона по крену относительно рефлектора составляет θ градусов, лазерный излучатель смещен по рысканию на α угловых секунд, а расстояние между оптическими элементами равно L м, то изменение отклонения от прямолинейности (мкм) составляет приблизительно $L \cdot \alpha \cdot \theta / 11,818$.

Пример.

Если призма Волластона смещена по крену относительно рефлектора на 1° , а расстояние между оптическими элементами равно 1 м, то изменение юстировки лазерного излучателя относительно оптических элементов на 10 угловых секунд изменит отклонение от прямолинейности на 0,846 мкм.

Поэтому рекомендуется до начала измерений проследить за точностью юстировки призмы Волластона и рефлектора прямолинейности по крену. После этого небольшие изменения юстировки лазерного излучателя относительно оптических элементов не окажут существенного влияния на результат измерения прямолинейности. Следовательно, можно считать, что результат интерферометрического измерения прямолинейности зависит исключительно от относительного расположения рефлектора прямолинейности (поверочной линейки) и интерферометра прямолинейности (индикатора). Обратите внимание на принципиальное отличие от неинтерферометрического лазерного измерения прямолинейности, для которого чрезвычайно важно поддержание устойчивости наведения источника лазерного излучения.

Измерение прямолинейности на станках с подвижным столом

Теперь рассмотрим различия между двумя схемами (А и В) измерения прямолинейности оси X в вертикальной плоскости на станке с вертикальным шпинделем, основанными на использовании лазерной интерферометрической системы или индикатора с поверочной линейкой. Различия обращают на себя внимание при рассмотрении станка с подвижным столом, ось X которого имеет погрешность по углу тангажа, вызванную подвижной массой стола. Данный пример предполагает, что литой стол ведет себя как твердое тело, а весь изгиб ограничивается расположенными под ним опорными направляющими и подшипниками. Для наглядности на всех рисунках величина погрешности по углу тангажа сильно преувеличена.

Схема А с интерферометром прямолинейности (или индикатором), закрепленным на неподвижном шпинделе, и рефлектором (или поверочной линейкой), закрепленным на подвижном столе (см. рисунки 20 и 21).

Схема В с рефлектором прямолинейности (или поверочной линейкой), закрепленным на неподвижном шпинделе, и интерферометром (или индикатором), закрепленным на подвижном столе (см. рисунки 22 и 23).

Схема А (неподвижный интерферометр или индикатор)

На рисунке 20 (ниже) показан установленный на штативе лазерный излучатель, установленный на шпинделе интерферометр прямолинейности и закрепленный на подвижном столе рефлектор прямолинейности. На графике показаны полученные по данной схеме результаты измерения прямолинейности, свидетельствующие о прямолинейности перемещения. Это объясняется тем, что создаваемая рефлектором виртуальная поверочная линейка при перемещении оси X совпадает с интерферометром прямолинейности в определенной точке из-за компенсации изменения углового положения рефлектора увеличивающимся расстоянием от интерферометра.

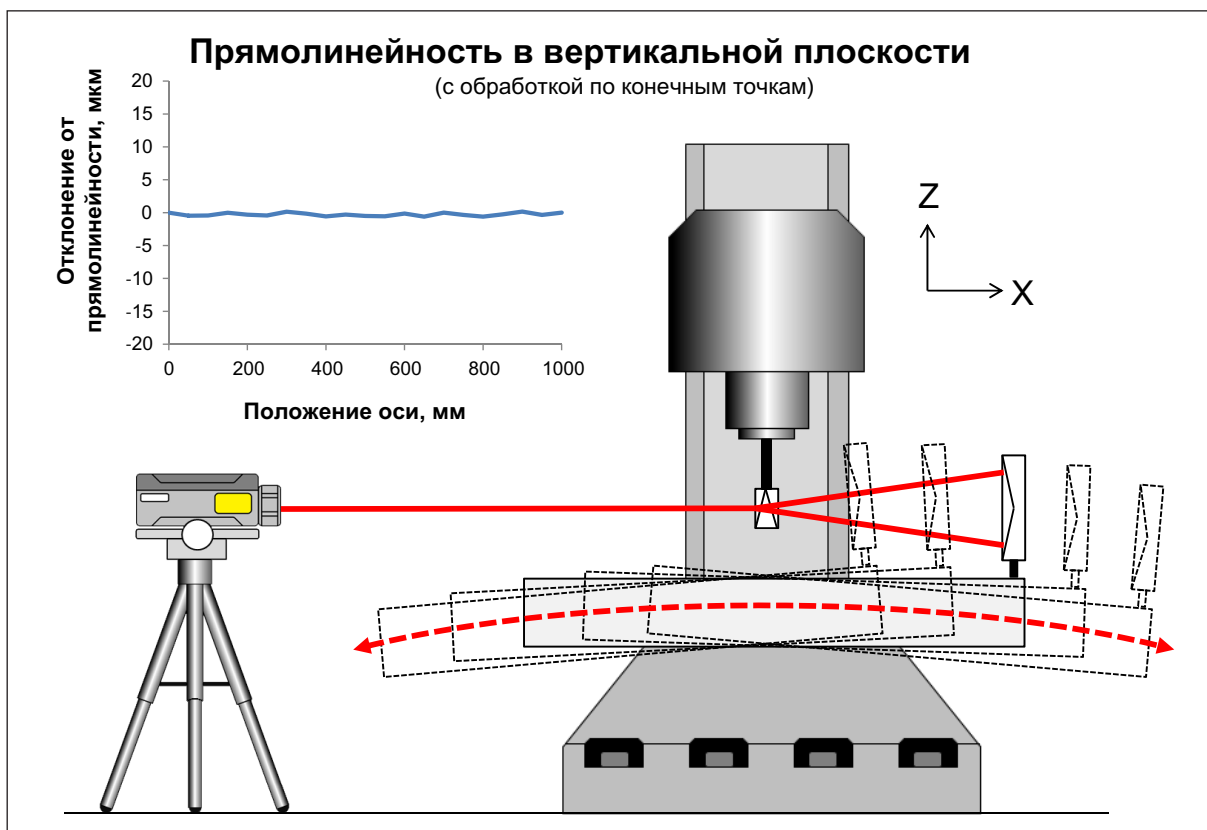


Рисунок 20

Поначалу такой результат может показаться некорректным, поскольку стол станка явно перемещается по криволинейной траектории, в то время как на графике прямолинейности изображена прямая линия. Этот вопрос более подробно обсуждается ниже.

Теперь давайте посмотрим, что произойдет, если в соответствии с рисунком 21 (ниже) заменить лазерную систему на поверочную линейку, установленную на подвижном столе, и цифровой индикатор, установленный на шпинделе.

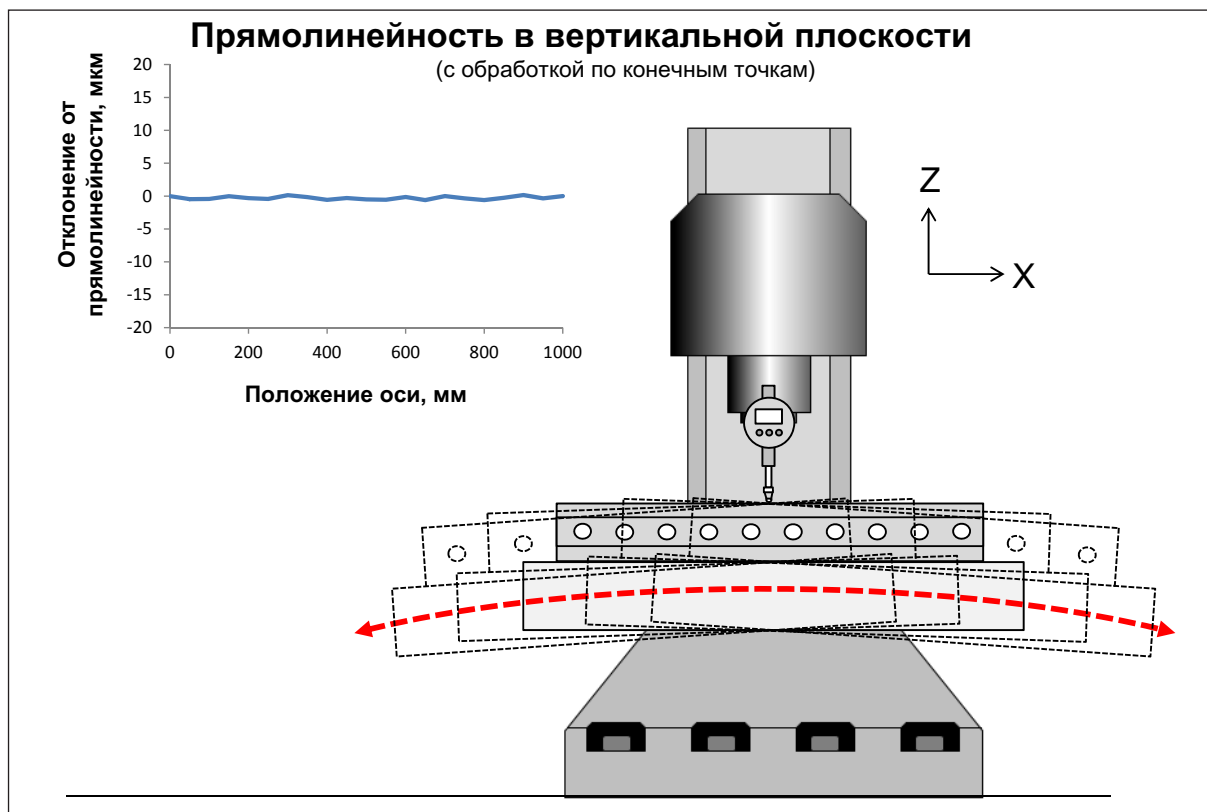


Рисунок 21

График полученных в данной схеме результатов снова указывает на прямолинейность перемещения стола. Это объясняется тем, что расстояние по вертикали от шпинделя до установленной на столе поверочной линейки при опускании стола остается неизменным.

Результаты лазерного измерения прямолинейности с подвижным рефлектором соответствуют показаниям индикатора, полученным по поверочной линейке, которая установлена на подвижном столе.

Теперь давайте посмотрим, что произойдет, если поменять компоненты местами и установить интерферометр (или индикатор) на подвижный стол, как это предусматривает схема В.

Схема В (подвижный интерферометр или индикатор)

На рисунке 22 показан установленный на штативе лазерный излучатель, установленный на шпинделе рефлектор и закрепленный на подвижном столе интерферометр. Полученный в данной схеме график прямолинейности указывает на криволинейность перемещения. Очевидно, что такой результат совершенно не соответствует данным, полученным с подвижным рефлектором.

В заключение посмотрим, что произойдет, если в соответствии с рисунком 23 (ниже) заменить лазерную систему поверочной линейкой, установленной на шпинделе, и цифровым индикатором, установленным на подвижном столе.

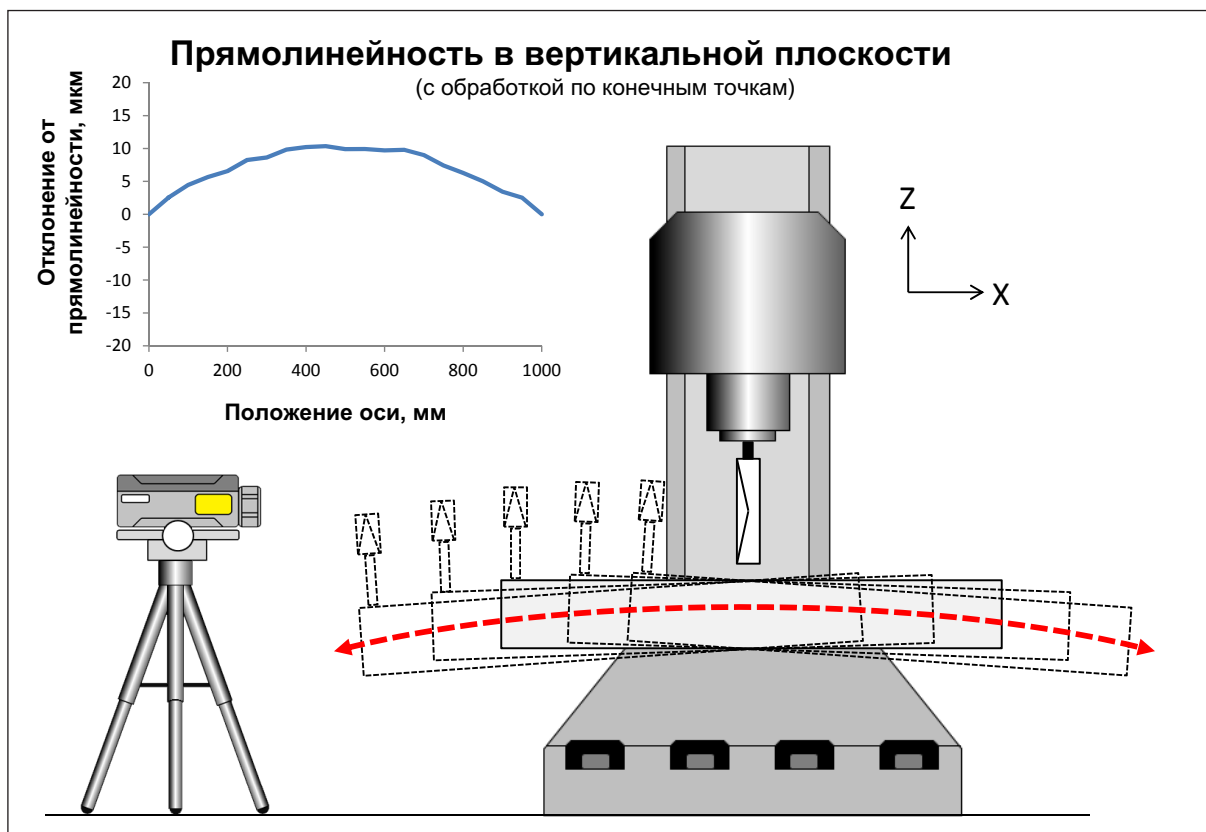


Рисунок 22

График полученных в данной схеме результатов снова указывает на криволинейность перемещения.

Результаты лазерного измерения прямолинейности с подвижным интерферометром соответствуют показаниям установленного на подвижном столе индикатора, полученным по поверочной линейке, которая установлена на шпинделе.

Очевидно, что результаты, полученные с подвижным интерферометром прямолинейности (или индикатором) совершенно не соответствуют данным, полученным с подвижным рефлексом (или поверочной линейкой). Но какой из результатов «правильный»?

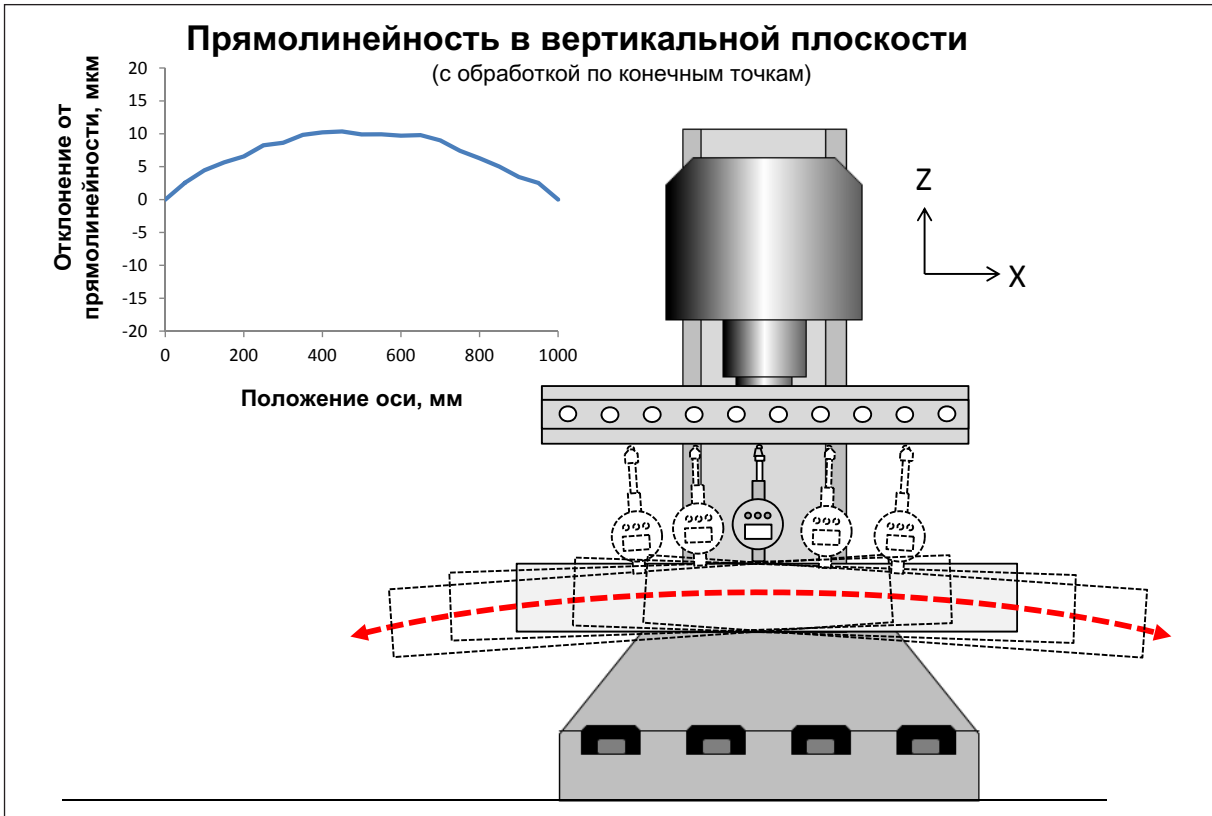


Рисунок 23

Сравнение «правильности» результатов измерений подвижного интерферометра и подвижного рефлектора

Чтобы разобраться с данным вопросом, посмотрим, что получится, если на этом станке фрезеровать в детали пять отверстий одинакового диаметра и одинаковой глубины, расположенных в один ряд по оси X в соответствии с рисунком 24. Затем поместим деталь на координатно-измерительную машину (КИМ), чтобы проверить точность изготовления отверстий. Результаты контроля на КИМ говорят о том, что все отверстия имеют одинаковую глубину, а центры дна всех отверстий лежат на одной прямой. Кроме того, углы наклона осей всех отверстий не совпадают.

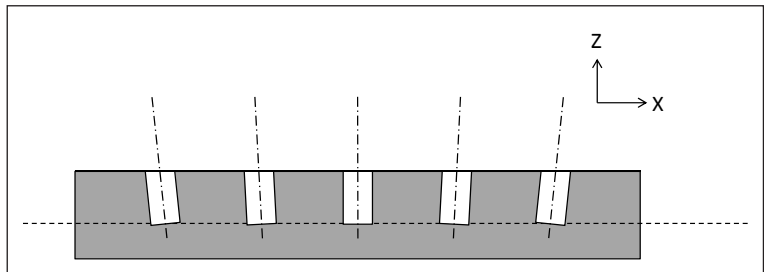


Рисунок 24

Это значит, что с точки зрения детали ось X считается прямолинейной и имеет лишь погрешность по углу тангажа. Такой вывод соответствует результатам лазерного измерения прямолинейности, которые получены с рефлектором, закрепленным на подвижном столе, и показаниям индикатора, которые получены по поверочной линейке, закрепленной на подвижном столе.

Это исследование, включая аналогию с индикатором и поверочной линейкой, позволяет разобраться, что стоит закреплять на подвижном столе — интерферометр прямолинейности или рефлектор.

Схема А (неподвижный интерферометр или индикатор). Как правило, такую схему следует использовать при контроле прямолинейности относительного перемещения шпинделя и приспособления для установки детали. Данная компоновка дает представление о точности обработки деталей на станке и выявляет погрешности позиционирования шпинделя в системе координат детали. ASME B5.54 рекомендует использовать эту схему для контроля станков с подвижным столом.

Схема В (неподвижный рефlector или поверочная линейка). Как правило, такую схему следует использовать при корректировке ошибок перемещения одиночной точки станка. Например, для регистрации траектории перемещения определенной точки на подвижном столе в системе координат станка. Результат свидетельствует о качестве изготовления станка, но совсем не о точности изготавливаемых на нем деталей.

Заключение

В настоящей статье подробно разобраны основные принципы интерферометрического метода измерения прямолинейности. Кроме того, здесь продемонстрирована возможность сравнения интерферометра прямолинейности (призмы Волластона) с индикатором и сравнения рефлятора прямолинейности с прецизионной поверочной линейкой, а также отмечается не критичность положения лазерного излучателя. Затем принятая аналогия используется для объяснения существенных различий между схемами установки приборов на станок с подвижным столом. В статье доказано, что для правильной оценки перемещения режущего инструмента относительно детали следует закрепить интерферометр прямолинейности (или индикатор) на инструментальной оправке, а рефlector прямолинейности (или поверочную линейку) на приспособлении для установки детали (подвижном столе) в соответствии с описанием схемы А и рекомендациями ASME B5.54. При этом схема В (подвижный интерферометр) лучше подходит для оценки качества изготовления станка и диагностики неисправностей.

Независимо от выбранной схемы измерения воспользуйтесь рекомендациями, помогающими повысить точность измерений.

Рекомендации по точному измерению прямолинейности интерферометрическим методом

Воспользуйтесь рекомендациями по повышению точности измерений с использованием интерферометра прямолинейности.

- На достаточно коротких осях старайтесь использовать оптические элементы для измерения прямолинейности малых перемещений. По сравнению с оптическими элементами для длинных перемещений они более точны и менее чувствительны к влиянию окружающей среды.
- Сведите к минимуму влияние помех, вызванных турбулентностью воздуха. Пересечение лазерных лучей блуждающими потоками слегка нагретого или охлажденного воздуха временно изменяет оптические длины путей, искажая результаты измерения прямолинейности. Для снижения помех можно разрешить в программном обеспечении лазерной системы усреднение по длинному промежутку времени или изменить окружающие условия.
 - Устраните или экранируйте локальные источники тепла и загородите рабочую зону от солнечного света.
 - В качестве альтернативы организуйте энергичное перемешивание воздуха вентиляторами, чтобы повысить его однородность и увеличить частоту помех для более эффективного устранения их методом усреднения по длинному промежутку времени. На рисунке 25 приведен пример снижения вызванных турбулентностью воздуха помех при помощи вентилятора, подающего воздух через лучи.

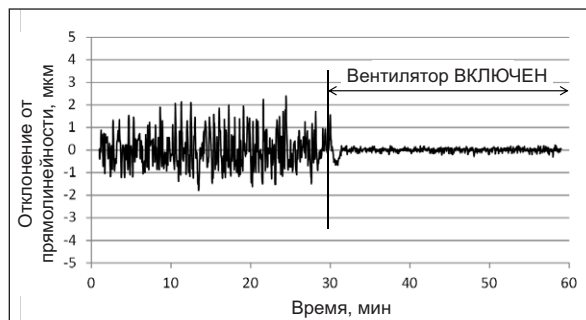


Рисунок 25

- Исключите чрезмерную ошибку уклона регулировкой рефлектора прямолинейности, что особенно важно на станках с ручным управлением.
- Обеспечьте надежное крепление и термостабилизацию рефлектора. Помните о том, что рефлектор формирует в пространстве виртуальную поверочную линейку, которая может простираться на несколько метров. Постарайтесь избежать нестабильности угла рефлектора в результате воздействия температуры или вибрации. Укрытие корпуса рефлектора тканью может способствовать его изоляции от изменений температуры окружающей среды.
- Обеспечьте точную юстировку интерферометра прямолинейности по крену относительно рефлектора. Такие меры предотвращают влияние небольших изменений угла юстировки лазерного излучателя относительно оптических элементов на результат измерения прямолинейности. Особая тщательность необходима при более коротких перемещениях, когда одного лишь обеспечения точного перекрытия отраженных лучей может быть недостаточно из-за проблем угловой стабильности опоры лазерного излучателя или самого станка (например, на виброизолирующих опорах или некачественном фундаменте). В случае сохранения проблемы рассмотрите возможность жесткого крепления лазерного излучателя на станке.

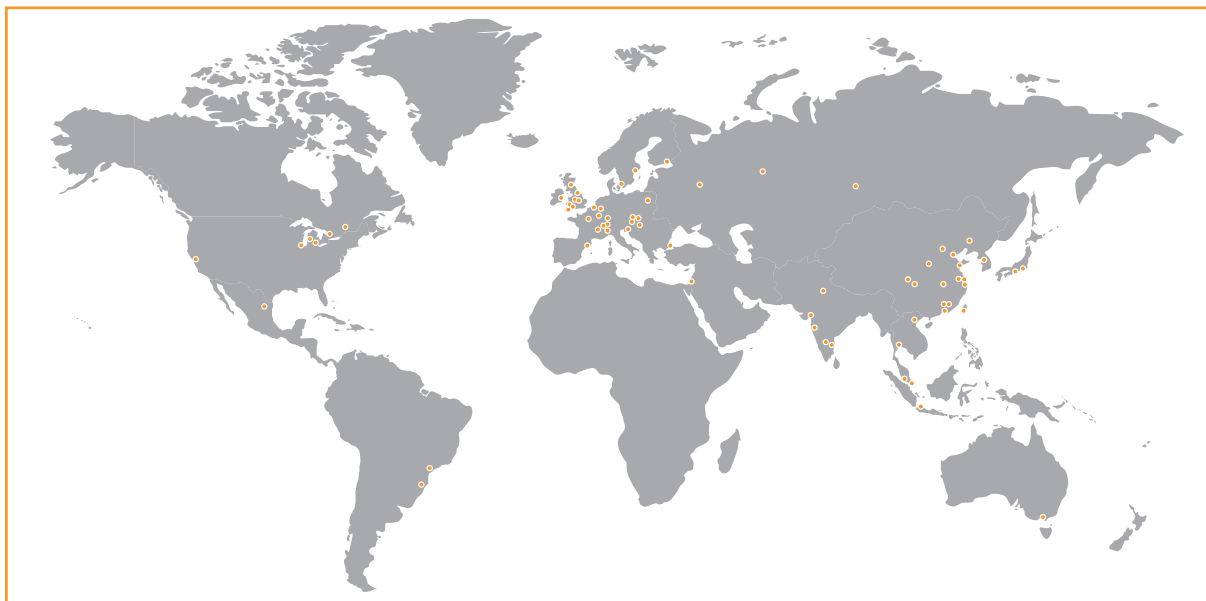
О компании Renishaw

Компания Renishaw является признанным в мировом масштабе лидером в области технологий машиностроения. История компании - это постоянное новаторство в области разработки и производства ее продукции. С момента своего основания в 1973 г. компания предложила множество самых передовых изделий, повышающих производительность производственных процессов, улучшающих качество продукции и обеспечивающих рентабельные решения для автоматизированных систем. Охватывающая весь мир сеть дочерних компаний и дистрибьюторов обеспечивает исключительный уровень обслуживания и поддержки для клиентов компании.

Продукция компании

- Системы аддитивного производства и вакуумного литья для дизайна, прототипирования и производства
- Энкодеры для обеспечения прецизионной обратной связи по положению и углу поворота на различном оборудовании
- Универсальные крепежные приспособления для КИМ и автоматизированных шаблонов
- Автоматизированные шаблоны
- Высокоскоростные лазерные системы для измерения и маркшейдерской съемки в экстремальных условиях
- Лазерный интерферометр и автоматические системы Ballbar для измерения рабочих характеристик и калибровки оборудования
- Медицинские приборы для применения в неврологической практике
- Измерительные системы и программное обеспечение для подготовки технологических процессов, наладки инструмента и выполнения измерений на станках с ЧПУ
- Рамановские спектрометры для неразрушающего контроля материалов
- Сенсорные системы и программное обеспечение для КИМ
- Щупы для КИМ и контактных измерений на станках

Адреса офисов Renishaw по всему миру указаны на сайте www.renishaw.ru/contact



КОМПАНИЯ RENISHAW ПРИЛОЖИЛА ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ, СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В ДАННОМ ДОКУМЕНТЕ НА ДАТУ ЕГО ПУБЛИКАЦИИ. ОДНАКО КОМПАНИЯ НЕ ПРЕДОСТАВЛЯЕТ НИКАКИХ ГАРАНТИЙ ИЛИ СООБЩЕНИЙ В ОТНОШЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ НАСТОЯЩЕГО ДОКУМЕНТА. КОМПАНИЯ RENISHAW СНИМАЕТ С СЕБЯ ВСЯКУЮ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ЛЮБЫЕ НЕТОЧНОСТИ В ДАННОМ ДОКУМЕНТЕ.

© 2013-2021 Renishaw plc. Все права защищены.
Компания Renishaw оставляет за собой право изменять технические характеристики изделий без уведомления.
RENISHAW и эмблема в виде контактного датчика, входящая в состав фирменного знака RENISHAW, являются зарегистрированными торговыми марками компании Renishaw plc в Соединенном Королевстве и других странах. apply innovation а также названия и обозначения изделий и технологий компании Renishaw являются торговыми марками компании Renishaw plc или ее подразделений.
Все остальные торговые марки и названия изделий, встречающиеся в содержании настоящего документа, являются торговыми наименованиями, знаками обслуживания, торговыми марками или зарегистрированными торговыми марками их соответствующих владельцев.



H - 5650 - 2060 - 01

Номер для заказа: H-5650-2060-01-A
Выпуск: 02.2021