

УДК 681.777.8, УДК 681.786

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТРАЖАТЕЛЯ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ГРАНЬЮ

Никитин М.М. Университет ИТМО

Научный руководитель – д. т. н., проф. Коняхин И.А.  
Университет ИТМО

В данной работе рассматривается проектная математическая модель нового типа контрольного элемента автоколлимационной системы, представляющего собой тетраэдрический отражатель, у которого одна из плоских граней заменена цилиндрической поверхностью. Результаты экспериментов с моделью подтвердили возможность использования КЭ для увеличения дистанции и диапазона трёхкоординатных автоколлимационных измерений

**Введение.** Автоколлиматоры используются при: измерении угловых перемещений частей и блоков крупногабаритных объектов; контроле деформаций и прогибов нагруженных элементов промышленных и транспортных сооружений в режиме реального времени; наводной, воздушной и космической стыковке.

При использовании обычного простого контрольного элемента (КЭ) автоколлиматора – плоского зеркала, возникают несколько проблем. Во первых – невозможно измерить поворот зеркала вокруг нормали к его поверхности (в начальном положении, когда перпендикуляр совпадает с осью визирования, данный угол называют углом скручивания). Во вторых – при увеличении дистанции до контролируемого объекта, пучок, отражённый от повернутого зеркала начиная с некоторой дистанции выходит за пределы апертуры приёмного объектива, что делает невозможным измерение углов. Для того, чтобы измерять угол скручивания в ряде систем используют бизеркало, формируют добавочный измерительный канал, состоящий из плоского зеркала и автоколлиматора и перпендикулярный основному, а также тетраэдрический отражатель. Данные решения позволяют измерить угол скручивания, но не решают проблему обеспечения измерений при увеличении дистанции. Известен способ, при котором на контролируемый объект устанавливается электромеханическая система автоматического управления, позволяющая возвращать отражённый пучок в область объектива автоколлиматора при увеличении дистанции, однако при этом теряется преимущество автоколлимационного метода, связанное с тем, что устанавливаемый на контролируемый объект КЭ не требует линий связи с автоколлиматором или системой измерения.

**Основная часть.** Для увеличения дистанции необходимо создать КЭ, формирующий при отражении пучок с увеличенной расходимостью в плоскости, содержащей оптическую ось объектива автоколлиматора, что позволяет регистрировать отражённый пучок на дистанции в несколько раз превышающую дистанцию работы серийного автоколлиматора. В частности, можно использовать тетраэдрический отражатель, заменив одну из плоских граней на поверхность второго порядка – цилиндр.

Рассмотрим тетраэдрический отражатель, у которого форма поверхности одной из плоских граней заменена на цилиндрическую. Оси первоначальной системы координат  $X_0Y_0Z_0$  совпадают с гранями тетраэдра (данную систему координат будем называть “граневая система координат”). Центр цилиндра лежит на оси  $Z_0$  и сдвинут на половину диаметра в отрицательном направлении, а нормаль  $N_{zc}$  к цилиндрической поверхности составляет угол  $\delta$  с осью  $Z_0$ . Угол  $\alpha$  между плоскостью, содержащей нормаль  $N_{zc}$  и ось  $Z_0$  и осью  $X_0$  составляет  $45^\circ$ , однако в модель заложена возможность его изменения, что позволяет синтезировать различные КЭ, отличающиеся углом поворота цилиндрической поверхности относительно оси

$Z_0$ . Рассмотрим теперь “приборную систему координат” (оси  $X$  и  $Y$  которой соответствуют положению осей объектива автоколлиматора, а ось  $Z$  совпадает с его оптической осью) образованную поворотом граневой системы координат. Ось  $X$  направлена параллельно нижнему ребру и проходит через начало координат  $X_0Y_0Z_0$ , ось  $Z$  направлена на наблюдателя и перпендикулярна передней грани, ось  $Y$  направлена вверх.

При рассмотрении описанного КЭ имеет значение порядок отражения от граней, так как матрицы действия КЭ (равняющиеся перемножению матриц плоских зеркал и матрицы цилиндрической поверхности) имеют разный вид, например при порядке отражения от 1-2-3 граней (сначала от грани  $ZOX$ , далее  $ZOY$ , потом цилиндрическая) и от 3-2-1 граней, и соответственно дают разные изображения. Однако, поскольку матрицы плоских зеркал между собой коммутативны, (последовательности 1-2-3 и 2-1-3, также как 3-1-2 и 3-2-1 дают одинаковую матрицу действия) в плоскости приёмника будет наблюдаться изображение, состоящее из двух линий, каждая из которых соответствует двум последовательностям, при этом в начальном положении наблюдается вертикальная прямая линия, соответствующая последовательностям 1-2-3 и 3-2-1 и пересекающая её кривая линия, соответствующая последовательностям 1-3-2 и 2-3-1.

Эксперименты с построенной моделью подтвердили, что между углом скручивания  $\Theta_3$  и углом поворота изображения  $\zeta$  (между прямой, соответствующей последовательностям 1-2-3 и 3-2-1 и осью  $Y$ ) присутствует прямая зависимость. Соответственно возможно измерить угол скручивания, измерив угол поворота изображения  $\zeta$ . Также было выявлено, что при повороте на угол  $\Theta_2$  (вокруг оси  $Y$ ) кривая, соответствующая последовательностям 1-3-2 и 2-3-1 поворачивается на угол  $\xi$  (между касательной к кривой в проведённой через начало координат и осью  $X$ ) в первом приближении пропорциональный  $\Theta_2$  умноженному на корень из двух. Однако измерение угла  $\Theta_1$  требует более детального рассмотрения, так как при изменении данного угла меняется стрелка прогиба кривой, соответствующей последовательностям 1-3-2 и 2-3-1.

**Выводы.** Таким образом использование нового типа КЭ позволит расширить метрологические свойства автоколлиматоров в плане увеличения дистанции измерения, диапазона измерения, возможности измерения угла скручивания и возможности работы на переменной (до 10-ти крат) дистанции работы. Созданная модель, является гибкой, и позволяет изменять угол поворота цилиндрической поверхности относительно оси  $Z_0$ , что делает возможным исследование КЭ с иной конфигурацией и новыми расширенными метрологическими свойствами.

Никитин М.М. (автор)

Подпись

Коняхин И.А. (научный руководитель)

Подпись