

ISSN 1991-5950

2

2018



РКТ
РАКАТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ТРУДЫ ФГУП «НПЦАП»

Системы и приборы управления

И.Л. Ловчий

Моделирование в среде LabVIEW реакции цифрового однокоординатного автоколлиматора на изменение углов ориентации контрольного элемента в виде плоского зеркала или прямоугольной призмы

АО «НИИ ОЭП», e-mail: lovchy@niiioep.ru

Рассмотрена компьютерная модель преобразования изображения марки в плоскости ПЗС-линейки при отражении от контрольного элемента в виде плоского зеркала или прямоугольной призмы. Описаны разработанные в среде графического программирования LabVIEW виртуальные приборы визуализации движения проекции марки при изменении положения контрольного элемента. Приведены результаты расчета погрешности измерения углов при «нештатном» положении отражателя.

I.L. Lovchy

LabVIEW simulation of the response of a digital single axis autocollimator to variation of the orientation angles of the controlled element in the form of a flat mirror or a rectangular prism

AO NII OEP, e-mail: lovchy@niiioep.ru

A computer model is presented for converting the image of a stamp in the plane of a CCD line when reflected from a controlled element in the form of a flat mirror or a rectangular prism. Virtual instruments designed in the LabVIEW graphic programming environment to visualize the motion of the stamp projection when the position of the controlled element is changed are described. The results of calculating the error in angle measurements for an "irregular" position of the reflector are shown.

Типичная схема цифрового измерительного автоколлиматора включает в себя осветитель, марку определённой формы, светофильтральный куб, объектив, отражающий контрольный

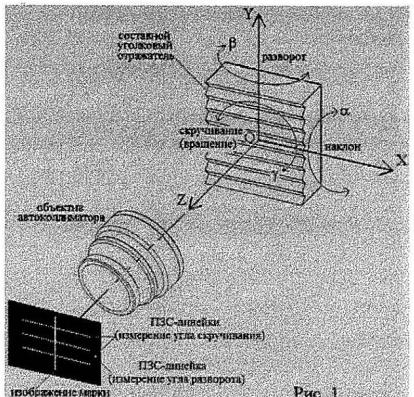


Рис. 1.

призм, рёбра которых расположены параллельно плоскости контролируемого разворота.

Составной уголковый отражатель используется и в автоколлимационном измерителе угла скручивания, поскольку вращение отражателя вокруг оси, перпендикулярной плоскости рёбер, приводит к двойному вращению изображения марки в плоскости приёмника. Для марки цепёвой формы величина «разбегания» зон заасветки двух разнесённых параллельных ПЗС-линеек позволяет оценить угол скручивания [1, 2].

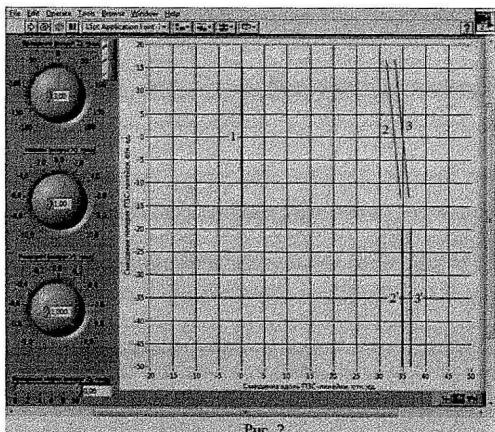


Рис. 2.

ции изображения в среде графического программирования LabVIEW были разработаны соответствующие виртуальные приборы (ВП) с отображением на экране компьютера сопряжённых плоскостей автоколлиматора. Алгоритм работы приборов основан на последовательных матричных преобразований координат проекции марки в плоскости приёмника при отражении луча автоколлиматора от подвижного КЭ.

На рис. 2 для примера представлена лицевая панель ВП отображения марки (1) и ее проекции в плоскости приёмника после последовательностей угловых перемещений КЭ в виде призменного отражателя (2, 3) или плоского зеркала ($2'$, $3'$): «вращение – наклон – разворот» ($2, 2'$) и «наклон – вращение – разворот» ($3, 3'$) для углов $\gamma = 3^\circ$, $a = 1^\circ$, $b = 1^\circ$.

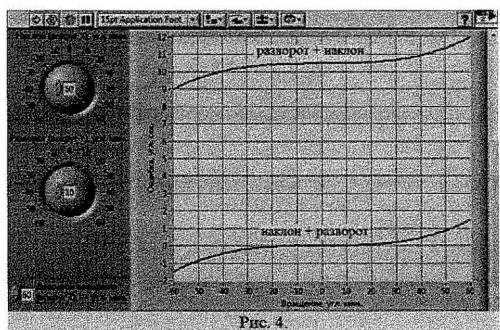
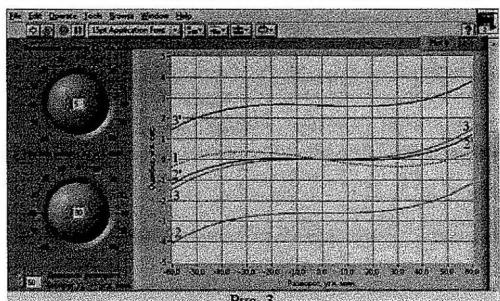
Разработанные ВП можно использовать в качестве встроенных приборов в ВП более высокого уровня для расчёта «установочной» ошибки измерения «рабочих» углов разворота или скручивания

элемента (КЭ), установленный на контролируемом объекте, и многоэлементный фотоэлектрический приёмник (одномерная линейка или двухмерная матрица), причём марка и приёмник расположены во взаимно-сопряжённых фокальных плоскостях объектива. В качестве КЭ обычно используется плоское зеркало, а углы разворота объекта оцениваются по величине сдвига изображения марки в плоскости приемника.

В некоторых задачах необходимо контролировать разворот объекта лишь в одной плоскости, например, в плоскости горизонта. Тогда в качестве приёмника удобно использовать функционально более простую одномерную ПЗС-линейку, а в качестве КЭ – прямоугольную призму или составной комплект уголковых отражателей из прямоугольных

На рис. 1 представлены условные направления углов наклона (α), разворота (β) и скручивания (вращения, γ) контрольного элемента в виде составного уголкового отражателя относительно прямоугольной системы координат и визирной оси автоколлиматора. В нулевом положении плоскость рёбер КЭ перпендикулярна оси Z и визирной оси, а направления рёбер параллельны оси X. Примем указанные направления угловых подвижек и для КЭ в виде плоского зеркала.

Очевидно, что положение и ориентация проекции марки в плоскости приёмника зависит от последовательности выполнения угловых перемещений КЭ. Для визуализации процесса трансформации



тельным ошибкам измерения угла разворота. Вместе с тем, при небольшом чистом наклоне плоского зеркала (без вращения) размах ошибки становится даже меньше, чем при штатном положении КЭ (при $\alpha = \gamma = 0$). Так, при чистом наклоне зеркала на 1° размах ошибки не превышает $\pm 0,3$ угл. сек. (точечная кривая 1), однако малейшее вращение наклонённого зеркала приводит к резкому росту абсолютной ошибки измерения угла разворота.

На рис. 4 представлена лицевая панель ВП расчёта «установочной» ошибки измерения угла скручивания призменного отражателя в диапазоне $\pm 1^\circ$ при начальной установке КЭ с наклоном на 1° и последующим разворотом на 10 угл. мин. или в обратном порядке указанных угловых подвижек. Видно, что последовательность выполнения «нерабочих» угловых подвижек существенно влияет на абсолютную погрешность измерения «рабочего» угла.

Разработанные ВП предполагают использование в автоколлиматоре безабберационного объектива, длинной щелевой марки – для бесспорного пересечения её проекции с ПЗС-линейкой при анализируемых угловых подвижках КЭ, отсутствие виньетирования в сквозном оптическом тректе. Безусловно, в реальном автоколлиматоре указанные ограничения приведут к увеличению абсолютной погрешности измерения рабочих углов, но характер зависимости её от последовательности выполнения и величин угловых подвижек КЭ сохранится.

Адекватность работы разработанных ВП и расчёта с их помощью ошибок измерения углов разворота и скручивания при «нештатной» установке КЭ подтверждаются экспериментальными результатами измерений небольших углов на реальных высокоточных автоколлиматорах.

Список литературы

1. Жуков Ю.П., Ловчий И.Л., Чудаков Ю.И., Шевцов И.В. Высокоточное устройство пространственной ориентации объектов // Оптический журнал. 2009. Т. 76. №9. С. 56-58.
2. Жуков Ю.П., Ловчий И.Л., Петров Л.П., Пестов Ю.И., Чудаков Ю.И., Шевцов И.В. Высокоточное устройство для измерения угла скручивания // Оптический журнал. 2014. Т. 81, №9. С. 69-72.

при «нештатном» угловом положении КЭ (т.е. при $\alpha \neq 0$ и $\gamma \neq 0$ или $\alpha \neq 0$ и $\beta \neq 0$) или сформулировать требования по допускам к «нерабочим» углам установки КЭ для получения требуемой точности измерения «рабочих» углов (соответственно, β или γ).

На рис. 3 представлена лицевая панель ВП расчёта «установочной» ошибки измерения угла разворота в диапазоне $\pm 1^\circ$ для КЭ в виде призмы (кривые 2, 3) или плоского зеркала (кривые 2', 3') при начальной установке КЭ с вращением на 30 угл. мин. и последующим наклоном на 5 угл. мин. (кривые 3, 3') или с наклоном на 5 угл. мин. и последующим вращением на 30 угл. мин. (кривые 2, 2'). При нулевых углах наклона и вращения кривая ошибки для обоих КЭ совпадает с кривой 3. Заметим, что описываемый ВП позволяет в любых пределах изменять как диапазон измеряемых «рабочих» углов, так и «нерабочие» углы начального положения КЭ. Из графиков видно, что «нештатная» установка КЭ в описанных случаях может привести к дополнительным ошибкам измерения угла разворота. Вместе с тем, при небольшом чистом наклоне плоского зеркала (без вращения) размах ошибки становится даже меньше, чем при штатном положении КЭ (при $\alpha = \gamma = 0$). Так, при чистом наклоне зеркала на 1° размах ошибки не превышает $\pm 0,3$ угл. сек. (точечная кривая 1), однако малейшее вращение наклонённого зеркала приводит к резкому росту абсолютной ошибки измерения угла разворота.

На рис. 4 представлена лицевая панель ВП расчёта «установочной» ошибки измерения угла скручивания призменного отражателя в диапазоне $\pm 1^\circ$ при начальной установке КЭ с наклоном на 1° и последующим разворотом на 10 угл. мин. или в обратном порядке указанных угловых подвижек. Видно, что последовательность выполнения «нерабочих» угловых подвижек существенно влияет на абсолютную погрешность измерения «рабочего» угла.

Разработанные ВП предполагают использование в автоколлиматоре безабберационного объектива, длинной щелевой марки – для бесспорного пересечения её проекции с ПЗС-линейкой при анализируемых угловых подвижках КЭ, отсутствие виньетирования в сквозном оптическом тректе. Безусловно, в реальном автоколлиматоре указанные ограничения приведут к увеличению абсолютной погрешности измерения рабочих углов, но характер зависимости её от последовательности выполнения и величин угловых подвижек КЭ сохранится.

Адекватность работы разработанных ВП и расчёта с их помощью ошибок измерения углов разворота и скручивания при «нештатной» установке КЭ подтверждаются экспериментальными результатами измерений небольших углов на реальных высокоточных автоколлиматорах.