

ВЫСОКОТОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

© 2009 г. Ю. П. Жуков; И. Л. Ловчий, канд. физ.-мат. наук; Ю. И. Чудаков;
И. В. Шевцов, канд. техн. наук

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: contact@niiki.ru

Дано описание конструкции оптико-электронного прибора для высокоточной передачи направления вектора из одной плоскости в другую на основе автоколлимационного метода с использованием отражателя в виде блока призм. Прибор позволяет определять угол взаимного разворота объектов в пределах $\pm 1,5^\circ$ с точностью до $5''$. При использовании устройства в качестве вертикального канала передачи направления предельная ошибка переноса азимута составляет не более $7''$ при расстоянии между объектами $2,5 \div 3,5$ м.

Ключевые слова: пространственная ориентация, угол скручивания, азимутальное направление, трипель-призма.

Коды OCIS: 120.4820

Поступила в редакцию 09.08.2009

При решении целого ряда производственных и специальных задач возникает необходимость высокоточной пространственной ориентации разнесенных объектов, в частности, определения взаимного разворота (угла скручивания) объектов, передачи на расстояние направления вектора, например азимутального направления, из плоскости одного уровня в плоскость другого уровня. Подобные задачи могут быть решены автоколлимационным либо поляризационным методами. В НИИКИ ОЭП ведутся разработки по обоим направлениям.

Измерительные системы, использующие автоколлимационный метод, разрабатывались преимущественно для передачи по вертикальному каналу базового направления (азимута), заданного ориентацией блока прямоугольных призмных отражателей. В основу работы положено свойство прямоугольного зеркала поворачивать отраженное от него изображение предмета [1].

На рисунке представлена принципиальная схема устройства [2], содержащего прямоугольный призмный отражатель 1, отражатель 2 в виде трипель-призмы, объектив 3, излучатели 4 с коллиматорами, марки 5 со светоделителями 6, приемные призмы 7, микрообъективы 8, призмный блок сведения 9, приемное устройство 10, блок обработки сигналов 11.

Устройство состоит из двух отдельных блоков. Блок I (задающий) содержит только прямоугольный призмный отражатель, который

располагается на одном из двух контролируемых объектов, либо, в случае передачи направления вектора, в плоскости базового направления. Про-

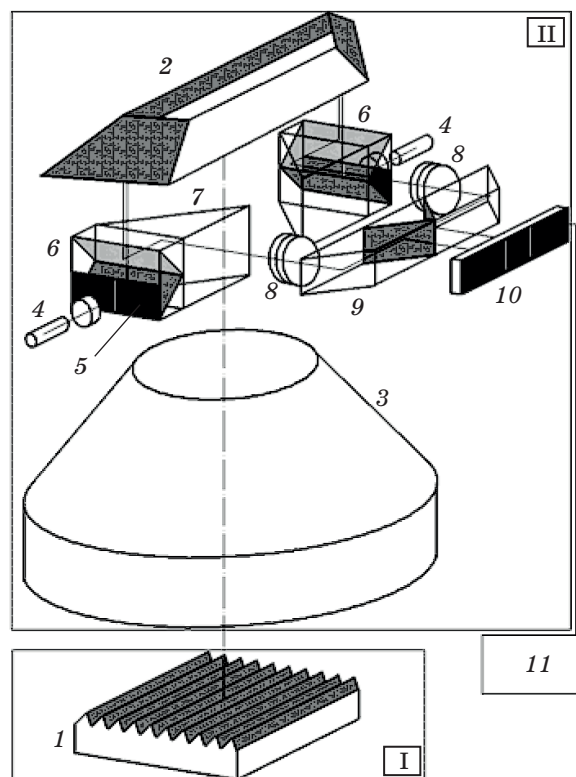


Схема устройства для высокоточной передачи направления вектора из одной плоскости в другую.

пространственное положение ребер прямоугольного призматического отражателя задает базовое направление. Блок II (приемный) включает в себя все остальные элементы устройства. Его размещают на другом контролируемом объекте либо в плоскости переноса базового направления – в случае передачи вектора направления.

Устройство работает следующим образом. На одном из объектов устанавливают задающий блок I, блок II устанавливают на контролируемом объекте либо в плоскости переноса вектора направления. Световые пучки от излучателей 4 проходят через марки 5 и светоделители, отражаются от трипель-призмы 2, проходят через объектив 3, отражаются от прямоугольного призматического отражателя 1, вновь проходят через объектив 3, трипель-призму 2 и светоделители 5, которые строят изображения марок в плоскости, являющейся предметной для выходных микрообъективов 8. Эти изображения переносятся микрообъективами на фотоприемное устройство (ФПУ) 10 посредством блока сведения 9.

Как известно, трипель-призма обладает свойством отражать лучи в направлении, противоположном направлению падающих на нее лучей, при этом разворот ее в любом направлении не вызывает изменения направления отраженных лучей. Благодаря этому свойству в рассмотренном выше ходе оптических лучей только прямоугольный призматический отражатель изменяет их направление в том случае, если линия марок не совпадает с “нулевым положением”. За “нулевое положение” линии марок может быть принято одно из двух ее положений

- линия марок строго параллельна ребру прямоугольного призматического отражателя,
- линия марок строго перпендикулярна ребру прямоугольного призматического отражателя.

Выполнение призматического отражателя в виде блока призм позволяет вести измерения при взаимных продольных и поперечных смещениях измеряемых объектов.

Настройка объектива обеспечивает на выходе последнего образование двух сходящихся пучков лучей, при этом объектив и прямоугольный призматический отражатель образуют двулучевую автоколлимационную систему, которая дает возможность работать на различных расстояниях между блоками I и II, т. е. на различных расстояниях между контролируемыми объектами. При этом не происходит расфокусировка изображений марок и изменение масштаба преобразования.

Марки жестко связаны между собой и образуют вместе с осветителями, приемными призмами

и микрообъективами блок, который выполняется с возможностью разворота вокруг оси объектива для ориентации линии марок в заданном направлении, соответствующем направлению ребер призматического отражателя. Технологически удобно разворачивать весь блок II вокруг оси объектива.

Измерение расстояния между индексами на выходе прибора осуществляется с помощью фотоэлектрического приемного устройства с зарядовой связью (ФПЗС). ФПУ совместно с электронным блоком обработки сигналов преобразует пространственное положение световых индексов на фоточувствительном регистре ФПЗС во временную развертку видеосигналов, при этом измеряется временной интервал между видеосигналами, что адекватно расстоянию между индексами.

Линия марок, относительно которой определяется искомый угол рассогласования, должна быть материализована. Для этой цели используется жестко установленный на блоке марок элемент привязки в виде дополнительного прямоугольного зеркала, ребро которого установлено параллельно линии марок. Элемент привязки задает контролируемое направление в плоскости переноса направления вектора. Поскольку установка элемента привязки на блок марок возможна с некоторой технологической погрешностью, то для каждого конкретного прибора угол между линией марок и элементом привязки измеряется, паспортизируется и используется при измерениях как поправка.

Для калибровки устройства используется дополнительная трипель-призма, вводимая в оптический тракт между объективом и призматическим отражателем. Размер трипель-призмы выбирается из условия захвата двух пучков, выходящих из объектива. Если трипель-призму ввести в ход лучей за объективом вместо призматического отражателя, то она благодаря своим свойствам отразит падающие лучи в том же направлении, при этом световые индексы на входе ФПУ займут положение, адекватное нулевому углу рассогласования между ребром прямоугольного отражателя и линией марок. Показание электронного блока обработки сигналов, соответствующее этому положению, фиксируется и заносится в долговременную память блока обработки информации. Оно может быть проверено (обновлено) с любой требуемой периодичностью.

Пример конкретного выполнения устройства:

- блок I выполнен из 18 призматических отражателей типа БР-180,

- фокусное расстояние объектива – 1800 мм,
- расстояние между марками – 44 мм,
- чувствительный регистр ФПЗС содержит 2048 элементов шириной 13 мкм (шаг ФПЗС) и высотой 40 мкм,
- диапазон расстояний между блоками I и II – $3 \pm 0,5$ м.

При аттестации устройства максимальная ошибка определения угла взаимного разворота объектов составила не более 5'' для диапазона углов разворота $\pm 1,5^\circ$, предельная ошибка переноса азимутального направления при использовании устройства в качестве канала передачи азимута составила 7''.

Устройство многофункционально, оно с одинаковым успехом решает задачи взаимной ориентации объектов, переноса направления вектора из одной плоскости в другую, определения параллельности плоскостей и проч. в широком диапазоне расстояний между объектами. При использовании устройства в полевых условиях необходимо предусмотреть защиту оптического тракта между объектами от температурных градиентов и турбулентных возмущений, приводя-

щих к возможным рефракционным ошибкам до нескольких десятков угловых секунд в определении угла скручивания. Одним из вариантов такой защиты является применение вакуумно-плотного светопровода с иллюминаторами. Наилучшие результаты по минимизации ошибки и стабильности определения угла скручивания между объектами в условиях намеренного неоднородного нагрева стенок светопровода были получены при вакуумировании светопровода либо при наполнении его гелием или неоном. Ошибка определения угла скручивания при этом практически не отличалась от соответствующей ошибки, полученной в стационарных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинаев Л.В. Система из двух прямоугольных зеркал и ее свойства // ОМП. 1987. № 12. С. 18–20.
2. Шевцов И.В., Жуков Ю.П., Чудаков Ю.И., Пономарев В.Я., Петров Л.П. Устройство пространственной ориентации объектов // Патент России № 2182311. 2001.