

МЕТОДИКА СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ ЛИНЗОВО-ЗЕРКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

© 2013 А. М. Бурбаев; А. И. Леонтьева, магистрант

НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

E-mail: aburbaev@mail.ru

Приводятся основные положения предлагаемой методики структурного анализа конструкций оптических систем, содержащих линзовые компоненты, разделённые зеркалами или призмами, выполняющими компоновочную или иные функции, что существенно затрудняет задачу центрирования этих систем. Разработана таблица, облегчающая выполнение такого анализа и одновременно помогающая выявить базы и требования взаимного расположения поверхностей, определяющих центрирование схемных элементов, определить юстировочные подвижки и последовательность операций юстировки.

Ключевые слова: центрирование линзовых компонентов, базирование и базы, юстировка, юстировочные подвижки, составляющие погрешности юстировки (деюстировки).

Коды OCIS: 350.4600.

Поступила в редакцию 29.04.2013.

Введение

Одной из типовых задач юстировки оптических приборов, вызывающих, пожалуй, наибольшие трудности, является задача центрирования линзовых компонентов оптической системы, разделённых плоскими зеркалами или призмами, выполняющими в ней компоновочные или иные функции. Эти трудности заключаются в том, что линзовые элементы оптической системы в этом случае лишаются преимуществ так называемого “традиционного” базирования насыпным методом (как, например, в трубе перископа), легко обеспечивающим их надлежащее центрирование. Такое базирование характеризуется кратчайшей размерной цепью, связывающей центрируемые компоненты.

В рассматриваемом случае базирование компонентов оптической системы (с точки зрения их центрирования) характеризуется неопределённостью, которую можно выразить уравнениями размерных цепей со многими неизвестными, как показано, например, в работе [1].

Центрирование оптической системы прибора в подавляющем большинстве случаев осу-

ществляется методом компенсации, т. е. путем регулировок или пригонок, позволяющих изменить пространственное расположение как линзовых, так и зеркально-призменных элементов. В монографии [2] показано, что даже в самом простейшем случае коленчатого визира, когда положение объектива и окуляра однозначно задано расточками отверстий в едином корпусе, погрешности установки плоского зеркала вызывают взаимную децентрировку оптических элементов визира. Эта децентрировка в свою очередь приводит к появлению около десятка существенных дефектов в оптической системе визира. Но если в простом случае для юстировки визира можно воспользоваться типовыми методами и средствами контроля, многие из которых описаны в литературе, например в [2, 3], то в общем случае, при “неопределённом” базировании как минимум трех элементов оптической системы, определить юстировочные подвижки, задать необходимые базы, установить допуски на их взаимное расположение, разработать (выбрать) средства центрирования и контроля, а также методику юстировки – все это представляет собой задачу весьма непро-

стью. Некоторые из цеховых методов и средств контроля при центрировании сложных оптических систем приводятся в работе [4].

Решению нетривиальных задач проектирования и юстировки узлов оптических приборов, содержащих плоские зеркала и призмы, разделяющие линзовые компоненты оптической системы, могла бы способствовать методика структурного анализа линзово-зеркальных систем (ЛЗС), основные положения которой приводятся ниже. В задачи такой методики входили бы следующие операции:

- выявление баз и требований взаимного расположения базирующих поверхностей, определяющих центрирование схемных элементов оптической системы, а также выполнение требований внешнего базирования конструкции юстируемого узла, вытекающих из условий связи данного узла с другими узлами изделия;

- определение юстировочных подвижек, предназначенных для устранения тех составляющих деюстировки (или погрешностей внешнего базирования), которые не могли быть ограничены установлением допусков расположения поверхностей;

- определение последовательности операций юстировки.

Требования к методике структурного анализа и ее исходные положения

Методика структурного анализа должна учитывать следующее:

- 1) виды относительных движений (подвижек) линзовых компонентов, сопрягаемых посредством плоских зеркал или призм, а также собственные юстировочные подвижки последних;

- 2) свойства зеркально-призменных систем (ЗПС), их инвариантность и действенные подвижки;

- 3) выявлять как недостающие, так и избыточные подвижки схемных элементов;

- 4) характер базирования линзовых компонентов и зеркально-призменных систем;

- 5) требования внешнего базирования сборочных единиц (СЕ) – межузловые связи.

Методика структурного анализа разрабатывается на основе перечисленных ниже положений.

1. Каждый центрируемый компонент оптической системы рассматривается как твердое тело, обладающее шестью степенями свободы перемещения относительно неподвижного корпуса (базовой детали), если на эти перемещения не наложены ограничения.

2. Разъюстировка центрируемого линзового компонента рассматривается как совокупность малых отклонений – сдвигов и наклонов его вдоль и вокруг осей прямоугольной системы координат XYZ , связанной с базовым компонентом системы или базовыми элементами конструкции. В общем случае разъюстировка характеризуется шестью составляющими: сдвигами – ΔX , ΔY , ΔZ и наклонами – φX , φY , φZ .

3. Взаимную деюстировку двух линзовых компонентов системы, разделенных ЗПС, рассматривают при выпрямленном ходе лучей. Для этого один из компонентов системы выбирают в качестве базового и связывают с ним систему координатных осей XYZ , а другой компонент изображают в ЗПС (в прямом или обратном ходе лучей) и оценивают составляющие деюстировки ΔX , ΔY , ΔZ , φX , φY , φZ , вызванные не только погрешностями базирования этого линзового компонента, но и погрешностями установки ЗПС, изображающей этот компонент.

4. Юстировочные подвижки зеркал и призм рассматривают в системе координатных осей, связанных с плоскостью базирования этих узлов, если в качестве юстировочных подвижек выбраны подвижки на базе. Если для юстировки зеркал конструкцией предусмотрены регулировочные устройства, то подвижки таких зеркал рассматривают в основной системе координатных осей $X_0Y_0Z_0$, ось Z_0 которой направлена по нормали к отражающей плоскости зеркала, а ось X_0 – перпендикулярно плоскости падения осевого луча (ОЛ).

5. Необходимый для выполнения юстировки диапазон регулировочных подвижек обеспечен конструктивно – рациональной установкой размеров и заданием соответствующих допусков на составляющие звенья размерных цепей, отсутствием грубых ошибок.

Для решения основных задач структурного анализа – выявления баз и требований взаимного расположения базирующих поверхностей, а также определения юстировочных подвижек – прежде всего нужно установить общее число подвижек центрируемых линзовых компонентов и ЗПС, а также соответствие их устраняемым погрешностям юстировки. Это удобно сделать с помощью специально разработанной структурной таблицы.

Таблица для структурного анализа конструкции линзово-зеркальной системы

Таблица состоит из четырех частей. В первой ее части приводится схема и структурные параметры

Структурный анализ конструкции линзово-зеркальной системы проекционного устройства

Схема и структурные параметры конструкции узла (группы)	Характер погрешности взаимного расположения линзовых компонентов и соответствующая этой погрешности деюстировка			Наличие подвижек у центрируемых линзовых компонентов и ЗПС, их соответствие устраняемым погрешностям			Способ устранения деюстировки линзовых компонентов
	1	2	3	4	5	6	7
	Сдвиги	ΔX	дц.2р	I		II	I
		ΔY	дц.2р	I			I
		ΔZ	рф.			II, II*	II*
	Повороты	φX	дц.1р		З ₁		З ₁
		φY	дц.1р		З ₁	II	З ₁
		φZ	ндств	I			-

Способ устранения деюстировки линзовых компонентов	Характер подвижек оптических элементов, способных повлиять на условия их внешнего базирования		Способ выполнения требований внешнего базирования оптических элементов			Необходимость ограничения допуска на взаимное расположение баз или введение пригонки	Неиспользуемые регулировки	Последовательность общей юстировки (базирования) элементов оптической системы				
			I	II	З ₂			I	З ₁	II	З ₂	
I - II												
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
I	Сдвиги вдоль осей	X					II	5				
I		Y						5				
II*		Z					II			6		
З ₁	Повороты вокруг осей	X/X ₀			З ₂	I, II			2		3	
З ₁		Y/Y ₀	I	II	З ₂			4	2	1	3	
-		Z					I					

анализируемой конструкции, т. е. исходные данные для структурного анализа. Они включают в себя

– базы основные, определяющие связь данного узла с другими устройствами (узлами, частями) прибора;

– базы сопряженные, определяющие положение узлов центрируемых оптических элементов, а также их характеристики;

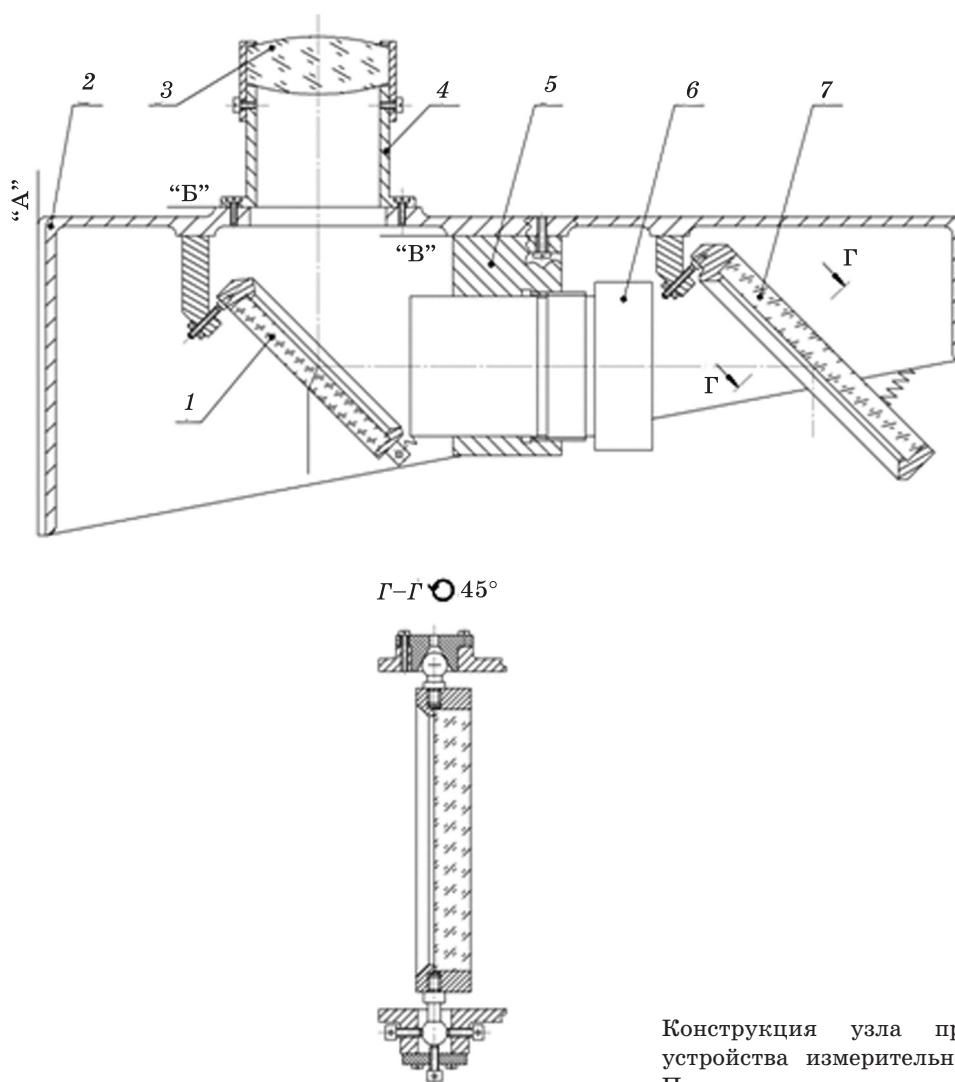
– собственно центрируемые линзовые компоненты и зеркала (призмы) с указанием преду-

смотренных конструкцией юстировочных подвижек.

Для различения функций конструкторских баз (КБ) основная КБ на схеме обозначается прописной буквой А русского алфавита, а сопряженные КБ (ГОСТ 21495-76 “Базирование и базы в машиностроении” определяет их как вспомогательные) – прописными буквами Б, В, Г и т.д.

Во второй части таблицы в системе координатных осей базового компонента приводятся все составляющие погрешности взаимного расположения компонентов. Этим составляющим погрешности расположения ставятся в соответствие погрешности юстировки: дц.1р и дц.2р – децентрировки 1-го и 2-го рода со-

ответственно [2], рф. – расфокусировка, а ндств. – означает, что подвижка недействительна. Кроме того, в этой части таблицы для каждого оптического элемента указываются подвижки, реализуемые данной конструкцией – сдвиги и повороты. И, наконец, в последнем столбце второй части таблицы осуществляется отбор подвижек для устранения взаимной деюстировки линзовых компонентов. В третьей части таблицы анализируется решение задачи обеспечения требований внешнего базирования оптических элементов. Приводимые здесь подвижки, способные повлиять на условия их внешнего базирования, рассматриваются в системе координатных осей базовой детали (корпуса). В последней части таблицы



Конструкция узла проекционного устройства измерительного прибора. Пояснения в тексте.

приводится оптимальная последовательность юстировки (базирования) оптических элементов.

Структурный анализ с помощью такой таблицы становится понятным и доступным в процессе рассмотрения конкретных примеров.

Пример структурного анализа конструкции узла проекционного устройства измерительного прибора

Прибор, в состав которого входит проекционное устройство, предназначен для полуавтоматического обмера снимков со следами траекторий элементарных частиц. В этом узле (см. рисунок) объектив *б* проецирует на экран изображение кадра пленки с увеличением $V = -10\times$. Пленка располагается вблизи верхней поверхности коллектива *З* прямоугольной формы с размерами 120×65 мм. Светоделительная пластина *1* и зеркало *7*, установленное за проекционным объективом *б*, осуществляют разделение оптических ветвей и требуемую компоновку системы. Кронштейн *2* коробчатой формы является базовой, несущей деталью проекционного устройства, на которой установлены и закреплены все перечисленные выше узлы.

Основное требование к устройству – взаимный наклон и сдвиг оптических осей коллектива *З* и проекционного объектива *б* не должны превышать соответственно 5' и 0,2 мм. Дополнительные требования (не указанные на чертеже) вытекают из условия базирования узла в приборе. Весь узел крепится к корпусу прибора торцевой плоскостью “А” и, таким образом, “А” является основной КБ узла. При этом и плоскость “А”, и оптические оси обеих ветвей системы (за пластиной *1* – в проходящем свете – и зеркалом *7*) занимают в приборе отвесное положение.

Отмечают на схеме (в первой части таблицы) основные схемные элементы: I – коллектив и II – проекционный объектив, Z_1 и Z_2 – светоделительная пластина и зеркало. Поверхности “А”, “Б” и “В” – базы, причем “А” – основная КБ, а “Б” и “В” – сопряженные с основной КБ угловым размером. КБ узла коллектива (“Б”) перпендикулярна осевому лучу (КБ \perp ОЛ), а КБ кронштейна с расточкой под проекционный объектив (“В”) – перпендикулярна плоскости хода осевого луча (КБ \perp ПХОЛ). Конструкции крепления и регулирования пластины и зеркала

идентичны и позволяют наклонять их вокруг осей X_0 и Y_0 – основной системы координатных осей $X_0Y_0Z_0$.

Во второй части таблицы отмечают наличие подвижек центрируемых компонентов и плоских зеркал, расположив эти элементы по ходу следования осевого луча. Наличие подвижек обозначают в соответствующих ячейках знаком, каким на схеме отмечены оптические элементы, а отсутствие подвижек – пустой ячейкой. Для обозначения подвижек коллектива его, совместно с базирующей плоскостью, мысленно изображают в зеркале (светоделительной пластине) Z_1 и рассматривают влияние этих подвижек в системе осей XYZ, связанной с проекционным объективом *б*, выбранным в качестве базового компонента. Подвижки зеркала (светоделительной пластины) Z_1 используют для центрирования линзовых компонентов I и II систем. Подвижки зеркала Z_2 , используемые для выполнения требований внешнего базирования, учтены в третьей части таблицы. Каждая подвижка вызывает вполне определенный вид погрешности юстировки, а с другой стороны, – с помощью конкретной подвижки можно устранить конкретный вид деюстировки. Звездочка * означает, что подвижка отличается независимым характером и потому она предпочтительнее.

В последнем столбце второй части таблицы намечают способ устранения деюстировки компонентов I и II. При этом критериями отбора подвижек являются удобство и доступность применения приспособлений для осуществления тонких подвижек (на первом этапе удобнее юстировать при рабочем положении базовой детали), независимый характер юстировки, а также вероятность использования подвижек для целей внешнего базирования.

В третьей части таблицы вновь приводят подвижки оптических элементов, но только те, которые способны повлиять на условия внешнего базирования, и при этом в системе координатных осей XYZ, связанных с базовой деталью (в рассматриваемом примере эта система осей совпадает с системой осей базового компонента).

С точки зрения взаимного центрирования компонентов, разворот коллектива *З* (I) на базе (ϕZ) считается инвариантной подвижкой. Однако с точки зрения требований внешнего базирования, коллектив (прямоугольной формы) в оправе должен быть ориентирован относительно основной КБ “А”. Кроме того, оптическая ось коллектива при установке узла в приборе

должна занять отвесное положение, т. е. быть перпендикулярна базе “Б”.

Заштрихованные ячейки этой части таблицы означают необходимость выполнения соответствующих требований внешнего базирования. Отсутствие в заштрихованной ячейке обозначения того или иного оптического элемента означает, что эти требования внешнего базирования должны быть обеспечены либо путем ограничения допуска на взаимное расположение баз, либо путем пригонки. В рассматриваемом примере следует ограничить допуск на отклонение от параллельности оси расточки под объектив 6 опорной плоскости кронштейна 5. В отношении коллектива 3 можно предложить результативную обработку опорной плоскости оправы 4 либо обеспечить необходимое базирование соответствующими допусками на изготовление коллектива и его оправы. В любом случае необходимое базирование коллектива по отношению к собственной оправе должно быть обеспечено до общей сборки узла. Стрелочками в таблице показана возможная компенсация “недостающих подвижек” схемных элементов путем выполнения базирования этих элементов с требуемой точностью.

Наконец, в последней, четвертой части таблицы определяют последовательность общей юстировки узла. Руководствуются при этом следующими положениями.

1. В первую очередь подлежат установке те элементы конструкции (оправы, кронштейны), из которых на время юстировки можно легко удалить линзовые компоненты и которые на последующих этапах юстировки могут выполнять функцию измерительных баз, обеспечивая наиболее простую технологию контроля. Для установки этих элементов требуется лишь поворот на базе в пределах зазоров при крепежных винтах.

2. В последнюю очередь выполняются наиболее тонкие операции юстировки, которые являются независимыми, т. е. не вызывают нарушений взаимного расположения схемных элементов, обеспеченного ранее.

3. При выполнении юстировочных подвижек оптического элемента на плоскости базирования поворот узла должен предшествовать его поступательным сдвигам. Независимый характер осуществления последних может быть обеспечен с помощью съемных вспомогательных направляющих.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурбаев А.М. Отработка технологичности конструкций оптических приборов. Учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. 95 с.
2. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1982. 237 с.
3. Бурбаев А.М. Способы контроля центрирования плоского зеркала в сходящемся ходе лучей // ОМП. 1975. № 4. С. 47–50.
4. Бурбаев А.М. Методы и средства цехового контроля установки плоских зеркал и призм в сходящихся пучках лучей // ОМП. 1977. № 5. С. 52–63.