

УДК 681.785.574

Параллелограммный интерферометр для фурье-спектрометров

© 2019 г. **В. А. Вагин***, доктор техн. наук; **Б. Е. Мошкин****, канд. техн. наук

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН), Москва

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва

E-mail: vaguine@mail.ru

Поступила в редакцию 29.08.2018

DOI:10.17586/1023-5086-2019-86-02-52-54

Рассмотрена конструкция миниатюрного динамического интерферометра для фурье-спектрометра. Интерферометр построен по классической схеме Майкельсона. Подвижное плоское зеркало в одном из плеч интерферометра перемещается с помощью параллелограммного механизма. Отличительной особенностью конструкции является то, что практически вся оптическая часть интерферометра расположена внутри этого механизма, что делает интерферометр очень компактным. Описан двигатель, обеспечивающий перемещение подвижного зеркала, у которого усилие на подвижную часть передаётся через магнитное поле. Основные достоинства предлагаемого интерферометра — дешевизна, легкая сборка и настройка, малые габариты и вес.

Ключевые слова: интерферометр, параллелограммный механизм, фурье-спектрометр.

Коды OCIS: 230.230.

В настоящее время разработано и производится большое разнообразие различных динамических фурье-спектрометров. Тем не менее, создаются все новые их модели, основанные в первую очередь на использование более совершенных современных оптико-механических и электронных узлов и элементов. Но появляются и новые оригинальные технические решения. К последним относится и решение, описанное ниже.

Основой любого фурье-спектрометра является интерферометр с изменяющейся оптической разностью хода. Точность его изготовления определяет технические характеристики фурье-спектрометра.

Известна конструкция фурье-спектрометра MINI-TES [1], наиболее миниатюрного из известных, включающего в себя интерферометр Майкельсона и радиометр. В нём узлы интерферометра расположены последовательно за светоделителем — подвижное зеркало, за ним — параллелограммный механизм и, наконец, привод. Радиометр, включающий в себя объектив и фотоприёмник, расположен вне интерферометра.

В предлагаемом устройстве используется иное взаимное расположение узлов. Светоделитель и оба

зеркала расположены внутри параллелограммного механизма, линейный двигатель установлен на каретке, а радиометр и вспомогательные узлы расположены над интерферометром. Это показано на рис. 1.

На основании 1 закреплён узел светоделителя 2, содержащий светоделительную 3 и компенсирующую 4 пластины. Над узлом светоделителя расположена платформа 5 с неподвижным плоским зеркалом 6 диаметром 20 мм. Платформа связана с основанием тремя юстировочными дифференциальными винтами 7. Каждый винт имеет резьбу M5×0,4 для соединения с основанием и резьбу M2,5×0,35 для соединения с платформой. Для придания винтам необходимой гибкости между резьбовых участков выполнена тонкая шейка диаметром 1,5 мм.

Отличительной особенностью описываемого модуля является параллелограммный механизм, внутри которого размещены все оптические элементы интерферометра. Этот механизм включает основание 1, каретку 8, и две взаимно параллельные пластины 9, шарнирно соединённые с основанием и кареткой. В качестве шарниров применены подшипники типа Ю 1000902. На каретке

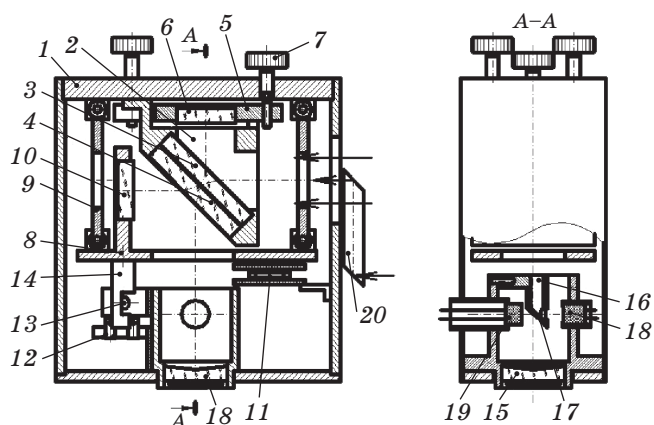


Рис. 1. Схема модуля интерферометра. Основание — 1, узел светоделителя — 2, светоделитель — 3, компенсатор — 4, платформа — 5, плоское зеркало — 6, дифференциальный винт — 7, каретка — 8, пластина — 9, подвижное зеркало — 10, магнитная система привода — 11, оптопара — 12, оптопара — 13, маска — 14, зеркальный объектив — 15, кронштейн — 16, плоское зеркало — 17, приёмник ИК излучения — 18, приёмник референтного излучения — 19, зеркальная призма — 20.

закреплено подвижное зеркало 10 диаметром 20 мм и магнитная система линейного привода 11.

Требование к приводу параллелограммного механизма формулируется следующим образом: привод со своей системой управления должен обеспечивать движение подвижного отражателя с постоянной скоростью на рабочем участке и быстрый реверс на концах этого участка. Этот реверс не должен вызывать механических воздействий на параллелограммный механизм (трение, вибрации), могущих нарушить постоянство скорости. При этом важно подчеркнуть, что стабилизировать нужно не скорость движения подвижного отражателя интерферометра в некоторой неподвижной системе координат, а скорость изменения оптической разности хода в интерферирующих пучках излучения, на которую влияют и колебания светоделителя, и взаимные колебания подвижного и неподвижного отражателей в плечах интерферометра. Речь идёт об изменениях скорости на временных интервалах порядка десятков микросекунд и об изменении положений упомянутых оптических деталей в пределах микрометров и даже долей микрометра. Для решения этой задачи был разработан двигатель, показанный на рис. 2, у которого усилие на маятник передаётся только через магнитное поле.

Он состоит из четырёх плоских постоянных магнитов 1 размером 14×14×2 мм, закреплённых через магнитопроводы 2 на стенке корпуса, и расположенной между ними катушки 3 диаметром 16 мм и толщиной 2 мм, связанной кронштейном с кареткой 8 (рис. 1). Направления магнитного поля через правую и левую части катушек противоположны друг другу, как и противоположны на-

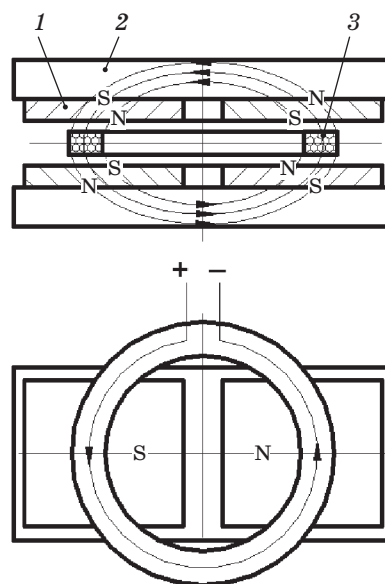


Рис. 2. Схема линейного двигателя. Плоский постоянный магнит — 1, магнитопровод — 2, катушка — 3.

правления тока по виткам катушки справа и слева. Поэтому сила Ампера действует на обе половины катушки в одну и ту же сторону, а направление этой силы зависит от полярности напряжения, приложенного к катушке.

Для регистрации крайних положений каретки используется две щелевых оптопары 12 (рис. 1), закреплённых на корпусе. Оптопара 13 с широким пучком излучения служит датчиком текущего положения каретки. Маска 14, перекрывающая при движении каретки потоки излучения всех трёх оптопар, закреплена на каретке. На катушку подаётся напряжение, необходимое для равномерного перемещения каретки с заданной скоростью. При достижении крайнего положения ток через катушку реверсируется, и каретка равномерно движется до другого крайнего положения.

Узел радиометра установлен в корпусе интерферометра под кареткой. Он содержит зеркальный объектив 15, кронштейн 16 с двухсторонним плоским зеркалом 17, наклонённым к оси объектива под углом 45°, приёмник инфракрасного излучения (типа Р5273) 18 и приёмник референтного излучения (германиевый фотодиод ФД-10ГА) 19. Выходной сигнал с пиродетектора подаётся на расположенную рядом электронную плату.

Источником излучения референтного канала служит HeNe-лазер, расположенный вне модуля интерферометра. Его излучение через зеркальную призму 20 вводится в интерферометр вдоль оптической оси.

В процессе отработки прибора были проверены различные варианты конструктивного и схемного решений. В частности, в зависимости от назначения спектрометра узел радиометра может быть

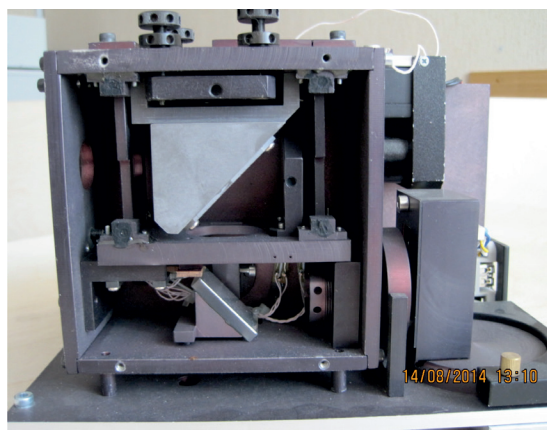


Рис. 3. Модуль интерферометра с параллелограммным механизмом, построенным на подшипниковых шарнирах.

установлен так, что его выходная оптическая ось будет параллельна входной оси интерферометра, что видно из рис. 3.

Для исключения люфтов в подшипниках вертикальные стенки параллелограмма могут быть соединены с основанием и кареткой с помощью плоских мембран, как показано на рис. 4.

Предложенная компоновка обладает рядом особенностей, позволяющих использовать модуль в малогабаритных спектрометрах. Во-первых, параллелограммный механизм практически не занимает места, располагаясь в промежутках между элементами интерферометра и деталями корпуса. Во-вторых, из-за того, что светоделитель с неподвижным зеркалом закреплены на основании 1 вблизи его середины, деформация основания не приводит к взаимному угловому смещению оптических элементов интерферометра, что позволяет существенно утончить и облегчить основание. В-третьих, использование линейного двигателя плоской конфигурации позволило расположить его на каретке в свободном месте. В-четвёртых, компоновка оптико-механических элементов в два «этажа» (вспомогательные узлы и радиометр над интерферометром) позволило занять свободное пространство внутри корпуса и тем самым уменьшить его габариты.

Поскольку предлагаемый интерферометр собран по классической схеме Майкельсона, то он обладает всеми её особенностями — максимальной светосилой (при равноценных габаритах), простой оптикой, зависимостью от внешних факторов (температуры, вибраций и т.п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Steven Silverman S., Peralta R., Christensen Ph., Mehall G. Fourier-spectrometer MINI-TES // Acta Astronautica. 2006. V. 59. Iss. 8–11. № 10–11. P. 990–999.
2. Балашов А.А., Вагин В.А., Котлов В.И., Мошкин Б.Е., Хитров О.В., Хорохорин А.И. Портативный переносной инфракрасный фурье-спектрометр ПАК-Б // ПТЭ. 2008. № 1. С. 179.
3. Балашов А.А., Вагин В.А., Мошкин Б.Е., Хитров О.В., Хорохорин А.И. Оптоволоконный фурье-спектрометр // ПТЭ. 2009. № 6. С. 143.

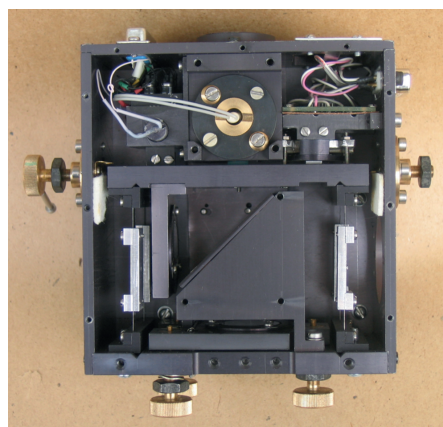


Рис. 4. Модуль интерферометра с параллелограммным механизмом, построенным на плоских мембранах.

В описываемой конструкции интерферометра рабочий диапазон механического перемещения подвижного отражателя устанавливается с помощью оптопар, которые формируют сигналы начала и конца этого перемещения. В реализованной конструкции, показанной на рисунках, максимальное перемещение составляло 12 мм. Соответственно время максимального полезного сканирования (при рабочих частотах основного канала) составляло примерно 6 с. Время, затрачиваемое на изменение направления движения (торможение и разгон в обратном направлении), — не более 100 мс. В случае, если обратный ход не использовался для измерения, а только для выхода на стартовую позицию, время обратного хода не превышало 1 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанного модуля интерферометра были созданы несколько различных ИК фурье-спектрометров, в частности портативный переносной фурье-спектрометр ПАК-Б [2] и оптоволоконный фурье-спектрометр [3]. Отметим основные достоинства рассматриваемого интерферометра — дешевизна, лёгкая сборка и надёжная настройка, неприхотливость в эксплуатации, малые габариты и вес, виброустойчивость, позволяющая эффективно использовать прибор в полевых условиях. На его основе разрабатывается переносной ИК спектрометрический прибор для контроля загрязнений окружающей среды.