

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И МОДУЛЕЙ

Д. Г. ГРЯЗИН<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Концерн «ЦНИИ „Электроприбор“», 197046, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: gdg@mt.IFMO.ru

Представлен опыт разработки комплекса специализированного стендового оборудования для контроля частотных характеристик микромеханических гироскопов, акселерометров и инерциальных модулей на их основе. Проанализированы особенности конструкции стендов и тенденции их развития.

**Ключевые слова:** *стенды, контроль, точность, частотные характеристики, микромеханика, гироскопы, акселерометры*

Микромеханические инерциальные модули находят все большее применение в системах управления подвижными объектами. Чувствительными преобразователями этих модулей являются изготовленные по массовой кремниевой технологии микромеханические инерциальные датчики. Для повышения точности измерений выполняется их калибровка с использованием специализированного оборудования. Российские стандарты не регламентируют ни перечень обязательных нормируемых характеристик микромеханических датчиков, представляемых производителем, ни методы их испытаний.

Одной из важнейших характеристик микромеханических инерциальных модулей является рабочий диапазон частот, для его оценки могут быть использованы универсальные стенды, позволяющие воспроизводить угловые колебания. Прецизионные стенды, обладающие избыточной для микромеханических датчиков точностью, имеют высокую стоимость. В то же время в эксплуатации специализированное оборудование, как правило, удобнее универсального; кроме того, оценка характеристик датчиков в диапазоне более 100 Гц затруднительна на универсальных стендах.

Для оценки частотных характеристик микрогироскопов и микроакселерометров разработан специализированный стенд (рис. 1) на основе линейного электродинамического привода [2]. Указанный привод состоит из электромагнита, создающего постоянное магнитное поле в рабочем воздушном зазоре, и помещенной в него подвижной катушки управления. Возвратно-поступательное перемещение якоря, на котором закреплена катушка управления, преобразуется в угловые колебания платформы посредством кулисы и ползуна, соединенных с якорем цилиндрическим шарниром.

Сигнал углового положения платформы вырабатывается закрепленным на оси ее вращения энкодером ЛИР-292А (погрешность не более  $\pm 15''$ ). Сигнал на обмотки управления подается от усилителя мощности. Система управления имеет отрицательную обратную связь, а алгоритмы ее работы реализуются с помощью компьютера. По сравнению со схемой, в которой применен электродвигатель в качестве датчика момента, в предлагаемой схеме нелинейность колебаний исполнительного элемента существенно снижена за счет отсутствия конечного числа пар полюсов у силового элемента. Синусоидальные колебания платформы обеспечивает близкий к синусоидальному закон изменения тока управления в соответствующих

катушках. Значительно повысило надежность стенда использование гибкого токоподвода вместо кольцевого.

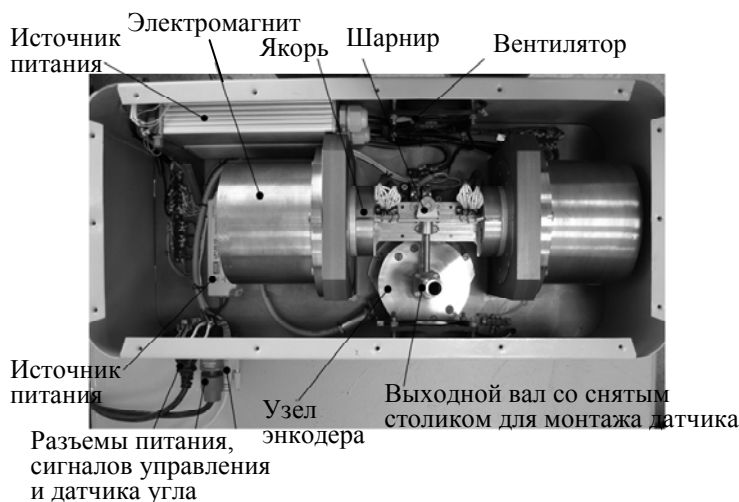


Рис. 1

Экспериментальная оценка метрологических характеристик стенда проведена с помощью доплеровского лазерного виброметра Ometron VQ-500-D-V, выходной сигнал которого представляет собой напряжение, пропорциональное линейной виброскорости. Аттестация стенда заключалась в оценке амплитудного и частотного диапазонов, а также погрешности амплитуд воспроизводимых угловых скоростей колебаний платформы стенда (рис. 2).

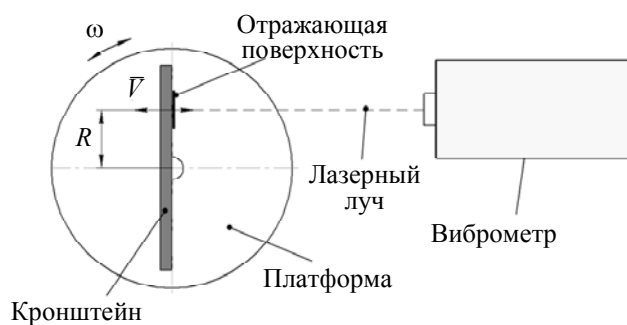


Рис. 2

Очевидно, что методическая погрешность при аттестации обусловлена радиальным, а не линейным движением контролируемой точки. Ввиду малых значений угла поворота платформы этой погрешностью следует пренебречь. Метрологическая аттестация подтвердила следующие характеристики стенда:

- диапазон задаваемых амплитуд угловых скоростей  $\pm 700$  град/с;
- диапазон задаваемых линейных ускорений  $\pm 100$  м/с<sup>2</sup>;
- предел относительной погрешности воспроизведения угловых скоростей и линейного ускорения в динамическом режиме  $\pm 3$  %;
- частотный диапазон задаваемых угловых скоростей и линейных ускорений 1—120 Гц;
- масса испытываемых датчиков не более 0,1 кг.

Поскольку инерциальные микромеханических модули, вырабатывающие информацию об угловом положении объекта, работают в области высоких частот, стенд для оценки их частотных характеристик построен по необычной схеме. Стенд представляет собой раскачивающуюся в двух плоскостях платформу, установленную на крестообразном подвесе. Колебания платформы по гармоническому закону обеспечиваются передачей, преобразующей вращательное движение привода в возвратно-поступательное движение, при помощи кривошипно-кулисных механизмов. Расширение частотного диапазона работы достигается за счет установки приводов каждой из осей на одном неподвижном основании. Применение трехсте-

пенного подшипника качения позволило передавать движение на вторую ось в отсутствие перекрестной связи, при которой колебания по внутренней оси модулируют колебания, производимые по внешней оси. Съем информации об угловом положении каждой из осей производится с помощью фотоэлектрических преобразователей. Стенд оснащен цифровой системой управления, обеспечивающей отрицательную обратную связь. Характеристики стенда:

- диапазон воспроизводимых углов по оси крена  $\pm 25^\circ$ ;
- диапазон воспроизводимых углов по оси дифферента  $\pm 15^\circ$ ;
- диапазон частот угловых колебаний осей крена и дифферента 0,1—4 Гц;
- предельная погрешность воспроизведения частоты угловых колебаний по осям крена и дифферента не более 1 %.

Наибольший интерес вызывает комплексное исследование характеристик изделий в режимах их функционирования на объектах. С этой целью разработан комплексный стенд (рис. 3) и отработаны методики исследования динамических характеристик инерциального измерительного модуля при воздействии угловых и вертикальных колебаний. По существу этот стенд состоит из средства воспроизведения угловых колебаний, установленного на стенд вертикальных колебаний. При этом вертикальные колебания воспроизводятся в диапазоне от 8 до 12 с. Система управления позволяет синхронизировать колебания таким образом, чтобы в верхнем и нижнем положении стенда угловое отклонение платформы соответствовало заданному значению.

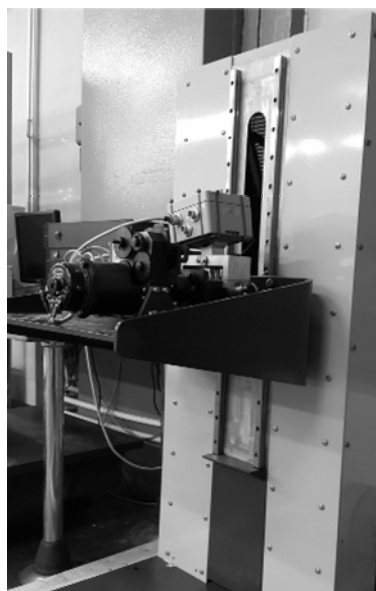


Рис. 3

С помощью указанного специализированного стендового оборудования выполнены экспериментальные исследования микромеханических гироскопов и микромеханических инерциальных измерительных модулей, одним из таких модулей был блок выработки параметров движения волномерного буя.

Для оценки изменения частотных характеристик и масштабного коэффициента датчиков под воздействием линейного ускорения также разработаны специальные методики, которые возможно реализовать на имеющемся в ЦНИИ „Электроприбор“ оборудовании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязин Д. Г. Сертификация микромеханических инерциальных датчиков. Состояние вопроса и пути его решения // Тр. 4-й Всерос. мультikonф. по проблемам управления. 3—8 октября 2011. Т. 2. С. 313—315.
2. Чекарёв А. Б., Грязин Д. Г. Испытательный стенд для воспроизведения угловых вибрационных колебаний: разработка и исследование метрологических характеристик // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 10. С. 51—58.

**Грязин Дмитрий Геннадьевич** — д-р техн. наук, профессор; ЦНИИ „Электроприбор“, Университет ИТМО, кафедра мехатроники; E-mail: gdg@mt.IFMO.ru

Рекомендована кафедрой  
мехатроники

Поступила в редакцию  
05.04.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Грязин Д. Г. Методы и средства контроля динамических характеристик инерциальных микромеханических датчиков и модулей // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 8. С. 797—800.

**METHODS AND MEANS OF CONTROL OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS  
OF INERTIAL MICROMECHANICAL SENSORS AND MODULES**

**D. G. Gryazin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor, JSC,  
197046, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: gdg@mt.IFMO.ru

An experience in development of complex specialized bench equipment to control frequency characteristics of the MEMS gyroscopes, accelerometers, and inertial based-on modules is described. Analyzes Peculiarities of the stands structures is analyzed, some trends in further development of stands are discussed.

**Keywords:** test bench, control, accuracy, frequency characteristics, micromechanics, gyroscope, accelerometer

**Data on author**

**Dmitry G. Gryazin** — State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektro-pribor, JSC; ITMO University; E-mail: gdg@mt.IFMO.ru

**For citation:** Gryazin D. G. Methods and means of control of the dynamic characteristics of inertial micromechanical sensors and modules. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 8. P. 797—800 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-8-797-800