

УДК 681.2.082

Челпанов Игорь Борисович

ФГАОУ ВО НИУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
Россия, Санкт-Петербург¹
Доктор технических наук, профессор
E-Mail: igorhelp@yandex.ru

Евстифеев Михаил Илларионович

ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, Санкт-Петербург
Доктор технических наук, профессор
Доцент
E-Mail: mevstifeev@eprib.ru

Кочетков Андрей Викторович

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-Mail: soni.81@mail.ru

**Малогобаритные упрощенные стенды для
исследовательских испытаний**

¹ 410022, г. Саратов, ул. Азина, д. 38 «В», кв. 4
Кочеткову Андрею Викторовичу

Аннотация. В статье отмечается, что малогабаритные упрощенные стенды для исследовательских испытаний должны обеспечивать испытательные воздействия в достаточно широких диапазонах их параметров, часто более широких, чем обеспечивают аттестованные дорогостоящие стенды. Но они должны быть малогабаритными, не требовать специальных фундаментов, простыми по устройству, от них может не требоваться высокая точность. При проектировании подобных стендов нужно в первую очередь опираться на традиции стендостроения, которое хотя и не выделяется в самостоятельную отрасль, но имеет давние традиции. При этом необходимо находить наиболее подходящие прототипы, но при этом также искать новые пути.

При перспективах применения датчиков ускорений и скоростей и акселерометров на особо высокдинамичных объектах (ракетах малого радиуса действия, артиллерийских снарядах), на которых кратковременные линейные ускорения могут превышать 105 g, требуется создавать при испытаниях такие и более высокие уровни центробежных ускорений. Однако имеющиеся в организациях крупногабаритные испытательные центрифуги способны создавать ускорения лишь до 103g, редко до 5•103g.

Для получения больших центробежных ускорений нужно уменьшать диаметр ротора; применительно к испытаниям малогабаритных микромеханических приборов вполне возможно уменьшение радиуса R до 0,05–0,1 м.

Подобные испытательные стенды пока не выпускаются. Но известны применяемые для отжима дешевые барабанные изделия бытовой техники с двигателями, имеющими частоту вращения порядка 20 тыс. об/мин и создающие ускорения на периферии барабана до 2•104g. Создаваемые по их подобию малогабаритные стенды позволят на порядок повысить уровень воспроизводимых ускорений.

Оценочные расчеты показывают, что на радиусе 50 мм можно получить перегрузки порядка 105g, что намного превышает возможности современного испытательного оборудования. При этом привод должен обеспечивать частоту вращения $n = 50$ тыс. об/мин; такие двигатели выпускаются промышленностью и используются в точном приборостроении.

Ключевые слова: датчики; преобразователь; классификация; микромеханический датчик; гироскоп; измерение; испытание.

Идентификационный номер статьи в журнале 89TVN314

Введение. В больших организациях имеются специальные подразделения, испытательные отделы, располагающие комплексами стендового оборудования. Парк стендов, как правило, создавался десятилетиями, многие из стендов изношены, давно технически и морально устарели, в них отсутствуют средства автоматизации. Кроме того, они часто приспособлены для испытаний громоздких и тяжелых блоков, типичных для старой приборной техники, они не способны перекрывать диапазоны параметров воздействий в соответствии с современными стандартами.

Постановка научной проблематики. Поэтому уже давно требуется замена стендового оборудования современным. По мере возможностей это делается, но нужно четко представлять спектр возможностей в этом направлении. Типичными можно считать следующие варианты.

1. В организации – изготовителе продукции, подлежащей испытаниям, прорабатываются возможности осуществления испытаний в другой организации или в отдельной, специально аттестованной испытательной лаборатории. При этом основным моментом является установление и документирование основных требований к испытаниям и согласование их с заказчиком продукции и с исполнителем, который будет проводить испытания.

2. Предварительно прорабатываются возможности испытаний изделий в самой организации-изготовителе. В этих случаях необходимо, с одной стороны, установить типовые требования, содержащиеся в стандартах и технических условиях на подобные конкретные изделия, а с другой — проанализировать сведения об имеющемся в организации испытательном оборудовании.

3. При отсутствии в организации-изготовителе испытательного оборудования ставится вопрос о приобретении стендов. Необходимо изучить все доступные материалы о серийно выпускаемых испытательных установках и, возможно, об отдельных разработках отечественных организаций, а также о стендах, выпущенных в единичных экземплярах или о нереализованных проектах, как возможных прототипах, а затем сопоставить их с требованиями к параметрам и режимам испытаний.

4. При установлении категорической необходимости создания новых стендов под новые требования нужно формулировать технические требования для разработки нового испытательного оборудования, предусмотреть необходимость и обеспечить его аттестацию и сертификацию, а также разработать методики испытаний на этих стендах.

5. В организации, получившей заказ на создание нового испытательного оборудования с формулировкой всех технических требований, нужно провести весь цикл, начиная с поэтапного проектирования, включая конструирование, представление рабочей документации, выбор комплектующих, размещение заказов на изготовление составных частей, сборку, монтаж и отладку.

6. Существующее испытательное оборудование, созданное в самой организации или полученное со стороны, без существенных изменений необходимо или модернизировать с целью расширения возможностей (например, изменения диапазона), или дополнить вспомогательными механическими устройствами, или повысить степень автоматизации, или встроить в единый комплекс с другим оборудованием.

7. При наличии необходимого испытательного оборудования необходимо разработать новые методики осуществления испытаний, обосновать задание режимов испытаний, выбрать те или иные алгоритмы обработки первичных данных, вторичной

обработки, и соответствующее программное обеспечение, обеспечить регистрацию окончательных результатов и их представления.

Метод решения. В конкретных ситуациях перечисленные задачи могут ставиться и решаться в различных комбинациях. Нужно быть готовым если не самостоятельно проводить указанные работы, то, по крайней мере, хорошо понимать проблематику и активно участвовать в их выполнении на различных этапах испытаний.

Для признания результатов испытаний, особенно на высоких уровнях (в частности, приемо-сдаточных, а тем более государственных) требуется аттестация методов и методик измерений, при использовании аттестованных стендов и необходимых образцовых средств измерений. Все это должно быть подтверждено правильно оформленными документами, иначе результаты испытаний могут не быть признаны.

Однако очень часто требуется проводить испытания оперативно, на различных этапах проектирования или даже научно-исследовательских работ. Дорогостоящие аттестованные и сертифицированные стенды и необходимые образцовые средства измерений имеются в специальных самостоятельных испытательных подразделениях очень крупных организаций, поэтому проведение подобных испытаний на таком оборудовании приводит к значительным потерям времени и требует нередко больших финансовых затрат, а иногда и становится практически невозможным.

Такое положение часто является практически безвыходным, если объекты испытаний велики по массам и габаритам.

Между тем часто объекты испытаний, в первую очередь, микромеханические датчики имеют очень малые массы (десятки, максимум немногие сотни граммов), часто проведение их испытаний на стендах, когда-то создаваемых под большие, громоздкие комплексы абсурдно. Существует острая необходимость в создании малогабаритных стендов, которые можно было бы устанавливать у разработчиков и наладчиков.

Ниже описываются результаты предварительных проработок схемных и отчасти конструктивных решений перспективных малогабаритных (компактных, настольных) стендов, которые будут предназначаться для оперативных, исследовательских и отработочных испытаний ДУС, а также соображения по методикам испытаний. Предполагается, что такие стенды могут использоваться на рабочих местах разработчиков и наладчиков микромеханических приборов [1-4].

При перспективах применения ДУС и акселерометров на особо высокодинамичных объектах (ракетах малого радиуса действия, артиллерийских снарядах), на которых кратковременные линейные ускорения могут превышать $10^5 g$, требуется создавать при испытаниях такие и более высокие уровни центробежных ускорений. Однако имеющиеся в организациях крупногабаритные испытательные центрифуги способны создавать ускорения лишь до $10^3 g$, редко до $5 \cdot 10^3 g$.

Для получения больших центробежных ускорений нужно уменьшать диаметр ротора; применительно к испытаниям малогабаритных микромеханических приборов вполне возможно уменьшение радиуса R до $0,05 - 0,1$ м.

Подобные испытательные стенды пока не выпускаются. Но известны применяемые для отжима дешевые барабанные изделия бытовой техники с двигателями, имеющими частоту вращения порядка 20 тыс. об/мин и создающие ускорения на периферии барабана до $2 \cdot 10^4 g$. Создаваемые по их подобию малогабаритные стенды позволят на порядок повысить уровень воспроизводимых ускорений.

Оценочные расчеты показывают, что на радиусе 50 мм можно получить перегрузки порядка $10^5 g$, что намного превышает возможности современного испытательного оборудования. При этом привод должен обеспечивать частоту вращения $n = 50$ тыс. об/мин; такие двигатели выпускаются промышленностью и используются в точном приборостроении.

Передача к ротору станда должна быть прямой быть прямой. Ротор должен быть на упругих опорах, чтобы станд работал далеко в зарезонансных режимах, при этом не потребуются его точная балансировка.

Альтернатива испытаний на поворотном станде с высокоточным приводом, на котором можно задавать различные постоянные значения угловой скорости при калибровке ДУС – это роторный станд, работающий на выбеге.

В описываемом ниже методе могут использоваться принципы калибровки и по образцовой мере, и по образцовому прибору. Ротор с установленным на нем калибруемым ДУС разгоняется любым приводом до угловой скорости, соответствующей границе диапазона калибруемого ДУС, потом привод отключается, а калибровка производится на выбеге, при естественном медленном и плавном изменении угловой скорости ротора под действием момента сил сопротивления.

При калибровке по образцовой мере по оси ротора должен быть установлен точный (образцовый) датчик угловой скорости или датчик угла, по сигналу которого можно с требуемой точностью определять текущие («мгновенные») или скользящие сглаженные значения угловой скорости.

Если по оси установлен образцовый датчик угла, то его сигнал преобразуется в сигнал угловой скорости, для многих датчиков углов такая функция предусмотрена в штатном программном обеспечении. Именно на выбеге одновременно регистрируются пары значений выходных сигналов образцового и калибруемого ДУС. При калибровке по образцовому прибору два ДУС (калибруемый и образцовый) устанавливаются на роторе, который может не иметь по своей оси датчик угла.

В результате обработки данных по всему процессу выбега до остановки получают данные для построения всей калибровочной характеристики, определения масштабного коэффициента и отклонений характеристики от линейной.

Важно, что процесс уменьшения угловой скорости в процессе выбега плавный, в том числе и при приближении к нулю, подобную плавность в широких диапазонах в стандах с программно управляемыми приводами стандов трудно достижимо.

Подобный станд может быть спроектирован и изготовлен с минимальными затратами. Для получения большого времени выбега и плавности желательно иметь ротор достаточно больших размеров и массы, подшипники должны быть с малым трением, чтобы время выбега составляло несколько минут. Тогда выбег будет происходить медленно и плавно, и можно будет пренебрегать динамическими погрешностями ДУС.

Получение угловых скоростей осуществляется при использовании одностепенной маятниковой конструкции с горизонтальной осью вращения и смещенным относительно нее центром тяжести. Принципиальная схема подобного маятникового станда показана на рис.1.

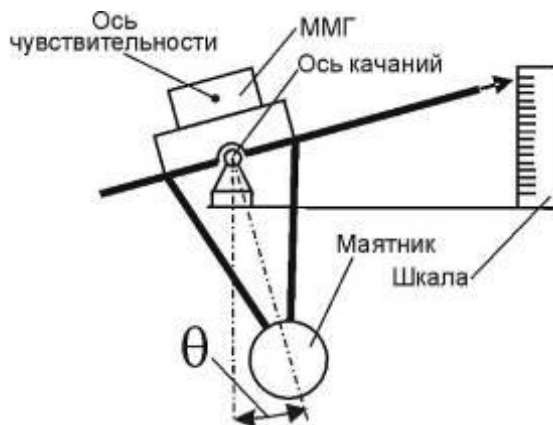


Рис. 1. Схема маятникового стенда

Конструктивные схемы маятниковых стендов могут значительно отличаться от изображенной. При задании по упору определенного, известного или измеряемого начального углового отклонения φ_0 после освобождения происходят свободные колебания по закону

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cos \Omega t \quad \omega(t) = -\varphi_0 \Omega \sin \Omega t, \quad (1)$$

где Ω – собственная частота маятниковых колебаний. Так воспроизводится синусоидальный закон изменения угловой скорости, но частота может быть сделана очень малой. Для задания и/или измерения начального отклонения, которое равно амплитуде, датчик угла поворота маятника не обязателен, это угол начального отклонения может оцениваться или по сигналу специально установленного акселерометра, или по линейному смещению указателя смещения стрелки маятника, или зеркальным методом. Период свободных колебаний определяется по секундомеру.

На хороших опорах не представляет большой трудности получить очень медленное затухание свободных колебаний. Таким образом реализуется схема калибровки по образцовому стенду (мере), но возможна также калибровка по образцовому прибору. Смещением центра масс и другими приемами можно получать различные собственные частоты Ω маятниковых колебаний (без особых трудностей – в пределах от $1 \text{ }^1/\text{с}$ до $10 \text{ }^1/\text{с}$. а угловые скорости – в пределах от $1 \text{ }^0/\text{с}$ до $100 \text{ }^0/\text{с}$.

При низких частотах свободных колебаний динамическими погрешностями можно пренебречь, и тогда масштабный коэффициент калибруемого ДУС нужно оценивать по амплитудным значениям. Для оценивании динамических погрешностей следует воспроизводить максимальные из возможных частот Ω изменения угловой скорости, измерять и регистрировать синхронные значения сигналов испытуемого и образцового ДУС или их сдвиг по фазе. Для определения коэффициента простейшей модели динамической погрешности достаточно задавать частоты на полтора порядка ниже собственной частоты испытуемого ДУС.

Тот же стенд может быть использован для определения влияния переменности угловой скорости на накопленную погрешность по углу. В этом случае результат оценивается по выходу первого интегратора; движение маятника нужно начинать с упора, и в конце процесса нужно привести подвижную часть к тому же упору. При этом на выходе первого интегратора будет накопленная ошибка по углу. Предположительно влияние переменной составляющей будет проявляться через нелинейность, целесообразно задавать различные значения амплитуд.

Ударные воздействия с большими пиковыми значениями ускорений (от 10^3 g до 10^5 g и более) характерны для подвижных объектов, быстро набирающих большие скорости (порядка

10^3 м/с), при этом длительности импульсов ускорений имеют порядок одной или нескольких миллисекунд. Получение при испытаниях на стендах столь больших скоростей и длительностей ударов невозможно. Однако для ММГ, конструкции которых имеют низшие собственные частоты порядка 10 кГц возможно сокращение длительностей ударных импульсов на один-полтора порядка при сохранении эквивалентности воздействия на чувствительный элемент ММГ, т.е. при сохранении того же эффекта ударного воздействия длительность импульса может быть сокращена в десятки раз, до десятой миллисекунды.

При этом соответствующее приращение скорости должно быть порядка десятков метров в секунду, что возможно получить на малогабаритных стендах. В отличие от традиционного способа разгона подвижной части с установленным датчиком под действием силы тяжести (такой способ позволяет получать скорости только меньше 10 м/с) предлагается использовать для разгона энергию предварительно напряженных пружин. Трехмерное изображение стенда, предварительно проработанного в ЦНИИ «Электроприбор», представлено на рис.2 [1].

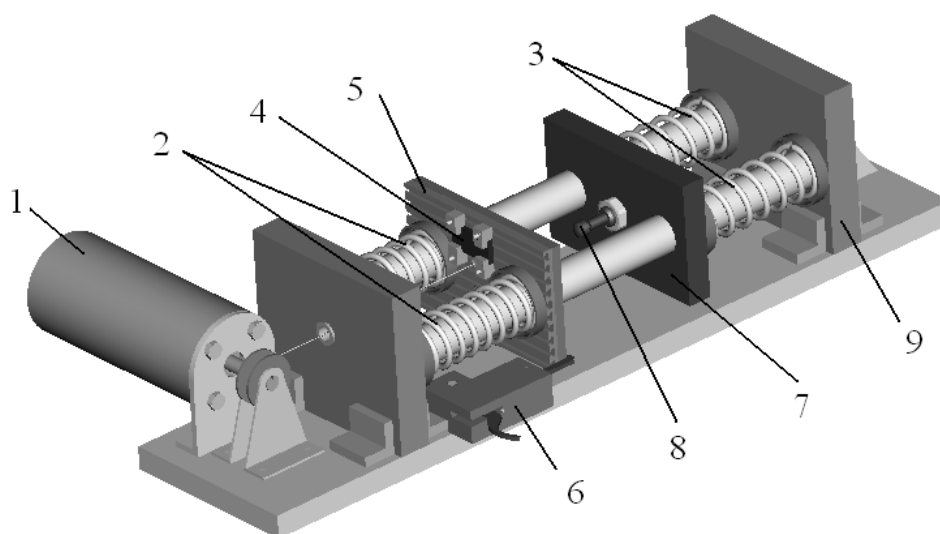


Рис. 2. Трехмерное изображение стенда

Предварительно пружинным приводом 1 при помощи троса подтягивается стол 5 с установленными микромеханическими датчиками 4, сжимаются приводные пружины 2. Для фиксации стола во взведенном состоянии служит задвижка 6, освобождающая подвижную часть при пуске. При ударе стол контактирует с наковальней 7 через тормозное устройство 8, вся подвижная система амортизируется еще одними пружинами 3. Изображенные пружины – цилиндрические, винтовые, но это не обязательно, пружины могут быть, например, плоскими. Возможно воспроизведение упругой системы в виде профилированных пластинчатых пружин, как в арбалете или луке.

Для оценивания возможностей подобных стендов было проведено математическое моделирование ударного воздействия, подобраны и рассчитаны пружины сжатия. Было показано, что при сравнительно небольших габаритных размерах стенда (0,6 м), массе порядка 40 кг возможно получить скорость подвижной части перед ударом порядка 40 м/с, что на порядок больше, чем у стендов с разгоном силой тяжести.

При тормозном пути 15-20 мм получают пиковые значения ускорения порядка $15 \cdot 10^3$ g при длительности ударного импульса около 0,2 мс.

Предполагается, что требуемый тормозной путь и определяемое этим пиковое значение ударного ускорения могут быть получены при использовании специальных средств,

таких как регулируемый пневмо- или гидродемпфер, амортизационные пружинные устройства или их комбинации. Именно от проработки этих устройств, допускающих регулировку и обладающих высокой стабильностью, будут зависеть перспективы создания и затем использования подобных ударных стендов.

Имеются сообщения о разработках подобных стендов за рубежом. В одном из информационных материалов имеется сообщение о малогабаритном ударном стенде LSM-100 Linear Shock Machine компании GHI Systems (США), предназначенном для испытаний микромеханических приборов и жестких дисков компьютера (рис.3).

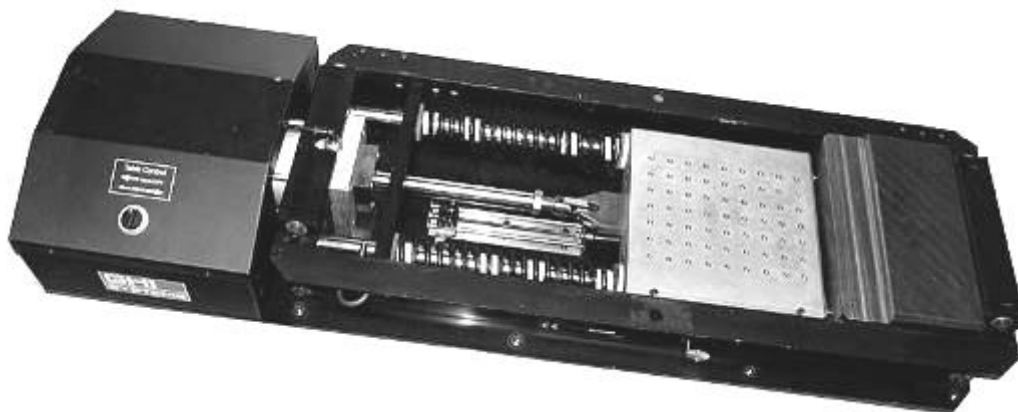


Рис. 3. Ударный стенд для испытаний микромеханических приборов и жестких дисков компьютера

Размеры стенда составляют 120×41×34 см, общий вес 75 кг. Стол, на котором устанавливается испытуемый прибор, имеет размеры 25×25 см, максимальная масса испытуемого прибора до 3 кг. Стенд способен развивать скорости до 6,5 м/с, обеспечивая пиковое значение ударного ускорения до 4500g с длительностью импульса 0,1-30 мс.

При использовании ДУС, в частности, ММГ в инерциальных модулях показатели их точности следует оценивать по результатам однократного, двукратного и трехкратного интегрирования. Имея калибровочные характеристики, ошибки на выходах интеграторов можно расчетно оценить по результатам математического моделирования. Однако необходимо непосредственное экспериментальное определение влияния качки на накопленные ошибки по выходам интеграторов. Это влияние может быть оценено при установке ДУС на прецизионном роторном стенде, предназначенном для определения калибровочной характеристики, если задавать периодические законы изменения угла.

Но при отсутствии такого дорогостоящего стенда с программным управлением можно обойтись поворотной платформой, поворотным столом без датчика угла, но с дополнительными устройствами, а именно, устройствами точного фиксирования, упорами, желательно в двух нескольких положениях, но, возможно, только в одном. Такое устройство может быть квалифицировано, как одноосный поворотный стол для задания произвольных угловых движений с позиционированием в начальном и конечном положениях по упорам.

Испытуемый ДУС устанавливается на поворотную платформу, в определенном положении, с измерительной осью (или поперечной осью, если представляет интерес влияние поперечной составляющей угловой скорости) датчика параллельной оси, вокруг которой можно задавать повороты платформы последовательно в одну и другую стороны с помощью привода возвратно-поступательного движения или даже вручную. В течение интервалов времени, для которых накопленные ошибки по углу, скорости и координате остаются в

допустимых пределах, поворотной платформе задаются возвратно-поступательные вращательные движения.

Желательно, чтобы амплитуды и частоты угловых скоростей можно было варьировать, хотя бы в нешироких пределах. Для задания углов поворота со знакопеременными скоростями могут быть использованы любые средства, в частности электропривод нерегулируемой скорости, который реверсируется по сигналам конечных выключателей. При задании вращений вручную нет необходимости удерживать постоянные значения амплитуд и частот, естественная нестабильность этих параметров будет соответствовать случайному характеру угловых колебаний объекта в реальных условиях эксплуатации.

Обсуждение результатов. Важно, что начальное и конечное угловые положения платформы должны задаваться точно, механически, по жестким упорам. Если упоров два (безразлично, в одной стороне или в обеих), то должен быть заранее точно известен (измерен) угол между угловыми положениями платформы на одном и другом упорах. Но целесообразно в качестве основного режима выбрать такой, при котором при снятии с упора после серии угловых колебаний происходит возвращение в исходное угловое положение (на тот же упор), тогда приращение угла равно нулю, а значение сигнала на выходе первого интеграла представляет собой накопленное значение погрешности по углу.

Возвращение к упору может осуществляться многократно, по получаемым при этом значениям выходного сигналов интеграторов может быть построена непрерывная зависимость от времени накопленной погрешности по углу. Применительно к выходам второго и третьего интеграторов нужно вводить поправки, которые должны получаться интегрированием угла поворота. По сравнению с испытаниями на неподвижном основании в результаты естественным образом добавляется влияние нелинейности характеристики, хотя она сама при этом непосредственно не определяется.

Описанная процедура часто используется на практике, хотя она не нашла отражения в каких-либо нормативных документах по испытаниям.

Выводы.

Малогабаритные упрощенные стенды для исследовательских испытаний должны обеспечивать испытательные воздействия в достаточно широких диапазонах их параметров, часто более широких, чем обеспечивают аттестованные дорогостоящие стенды. Но они должны быть малогабаритными, не требовать специальных фундаментов, простыми по устройству, от них может не требоваться высокая точность. При проектировании подобных стендов нужно в первую очередь опираться на традиции стендостроения, которое хотя и не выделяется в самостоятельную отрасль, но имеет давние традиции. При этом необходимо находить наиболее подходящие прототипы, но при этом также искать новые пути [5, 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстифеев М.И. Теория и методы расчета упругих подвесов инерциальных чувствительных элементов приборов навигации. Докторская диссертация. - СПб: ЦНИИЭлектроприбор, 2007.
2. Челпанов И.Б. Автоматические технологические машины и оборудование. Испытания машин. СПб, изд. СПбГПУ, 2008. - 296 с.
3. Евстифеев М.И., Розенцвейн Д.В., Челпанов И.Б. Анализ прочности упругих подвесов микромеханических гироскопов // Гироскопия и навигация. – 2009. – №.3 – С.22-34.
4. Евстифеев М.И., Степанов О.А., Челпанов И.Б. Испытания микромеханических приборов. Учебное пособие. - Санкт-Петербург : Издательство ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2013. - 210 с.
5. Челпанов И. Б., Кочетков А. В., Янковский Л. В. Метод повышения точности, основанный на введении поправок в устройство управления // Технология машиностроения. 2013. № 13. С. 40-45.
6. Челпанов И.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Определение составляющих линейных ускорений рабочих органов машин // Приборы. 2013. № 10. - С. 48-51.
7. Роторное стендовое оборудование для испытаний микромеханических приборов Челпанов И.Б., Евстифеев М.И., Кочетков А.В. / Интернет-журнал «Наукоедение» // 2013. № 5 (18). С. 107.
8. Акустические испытания микромеханических гироскопов / Челпанов И.Б., Евстифеев М.И., Кочетков А.В. // Интернет-журнал «Наукоедение». 2013. № 5 (18). С. 104.
9. Методы классификации микромеханических приборов / Челпанов И.Б., Евстифеев М.И., Кочетков А.В. // Интернет-журнал «Наукоедение». 2013. № 4 (17). С. 36.
10. Методы проектирования средств измерения сил и моментов реализуемых на базе штатных деталей технологических машин / Кадыров Ж.Н., Кочетков А.В., Челпанов И.Б. // Интернет-журнал «Наукоедение». 2013. № 3 (16). С. 70.
11. Испытательные многостепенные стенды-роботы с механизмами последовательной и параллельной структуры / Челпанов И.Б., Кочетков А.В. // Интернет-журнал «Наукоедение». 2012. № 3 (12). С. 29.

Рецензент: Овчинников Игорь Георгиевич, профессор, доктор технических наук, заместитель руководителя Поволжского отделения Российской академии транспорта.

Igor Chelpanov

St.-Petersburg state polytechnical university
Russia, St.-Petersburg
E-Mail: igorhelp@yandex.ru

Mikhail Evstifeev

JSC Kontsern Central Research Institute Elektropribor
Russia, St.-Petersburg
E-Mail: mevstifeev@eprib.ru

Andrey Kochetkov

Perm national research polytechnical university
Russia, Perm
E-Mail: soni.81@mail.ru

The small-sized simplified stands for the research tests

Abstract. In article it is noted that the small-sized simplified stands for research tests have to provide test influences in rather wide ranges of their parameters, often wider, than provide certified expensive stands. But they have to be small-sized, not demand special bases, simple on the device, from them high precision can not be required. At design of similar stands it is necessary to rely first of all on traditions of a stendostroyeniye which though isn't allocated in independent branch, but has long traditions. Thus it is necessary to find most suitable prototypes, but thus also to look for new ways.

At prospects of use of sensors of accelerations and skoresty and accelerometers on especially high-dynamic objects (rockets of small radius of action, artillery shells) on which short-term linear accelerations can exceed 105g, it is required to create such and higher levels of centrifugal accelerations at tests. However large-size test centrifuges available in the organizations are capable to create accelerations only to 103g, is rare to 5•103g.

For receiving big centrifugal accelerations it is necessary to reduce diameter of a rotor; in relation to tests of small-sized micromechanical devices quite possibly reduction of radius of R of 0,05-0,1 m.

Similar test benches aren't issued yet. But cheap drum products of household appliances applied to an extraction with engines, having the frequency of rotation about 20 thousand rpm and creating accelerations on the periphery of a drum to 2 are known 104g. Small-sized stands created on their similarity will allow to raise level of reproduced accelerations much.

Estimated calculations show that on the radius of 50 mm it is possible to receive order overloads 105g that much more exceeds possibilities of the modern test equipment. Thus the drive has to provide rotation frequency $\pi = 50$ thousand rpm; such engines are issued the industry and are used in exact instrument making.

Keywords: sensors; converter; classification; micromechanical sensor; gyroscope.

Identification number of article 89TVN314

REFERENCES

1. Evstifeev M.I. Teorija i metody rascheta uprugih podvesov inercial'nyh chuvstvitel'nyh jelementov priborov navigacii. Doktorskaja dissertacija. - SPb: CNIIJelektropribor, 2007.
2. Chelpanov I.B. Avtomaticheskie tehnologicheskie mashiny i oborudovanie. Ispytanija mashin. SPb, izd. SPbGPU, 2008. - 296 s.
3. Evstifeev M.I., Rozencvejn D.V., Chelpanov I.B. Analiz prochnosti uprugih podvesov mikromehaničeskikh giroskopov // Giroskopija i navigacija. – 2009. – №.3 – S.22-34.
4. Evstifeev M.I., Stepanov O.A., Chelpanov I.B. Ispytanija mikromehaničeskikh priborov. Uchebnoe posobie. - Sankt-Peterburg : Izdatel'stvo OAO «Koncern «CNII «Jelektropribor». 2013. - 210 s.
5. Chelpanov I. B., Kochetkov A. V., Jankovskij L. V. Metod povyšeniya točnosti, osnovannyj na vvedenii popravok v ustrojstvo upravlenija // Tehnologija mashinostroenija. 2013. № 13. S. 40-45.
6. Chelpanov I.B., Kochetkov A.V., Jankovskij L.V. Opredelenie sostavljajushhih linejnyh uskorenij rabočih organov mashin // Pribory. 2013. № 10. - S. 48-51.
7. Rotornoe stendovoe oborudovanie dlja ispytanij mikromehaničeskikh priborov Chelpanov I.B., Evstifeev M.I., Kochetkov A.V. / Internet-zhurnal «Naukovedenie» // 2013. № 5 (18). S. 107.
8. Akusticheskie ispytanija mikromehaničeskikh giroskopov / Chelpanov I.B., Evstifeev M.I., Kochetkov A.V. // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013. № 5 (18). S. 104.
9. Metody klassifikacii mikromehaničeskikh priborov / Chelpanov I.B., Evstifeev M.I., Kochetkov A.V. // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013. № 4 (17). S. 36.
10. Metody proektirovanija sredstv izmerenija sil i momentov realizuemyh na baze shtatnyh detalej tehnologičeskikh mashin / Kadyrov Zh.N., Kochetkov A.V., Chelpanov I.B. // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013. № 3 (16). S. 70.
11. Ispytatel'nye mnogostepennye stendy-roboty s mehanizmami posledovatel'noj i parallel'noj struktury / Chelpanov I.B., Kochetkov A.V. // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2012. № 3 (12). S. 29.