

УДК 531.383.001.4

РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОГО УДАРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Д.П. Елисеев, В.П. Серебряков, А.П. Чапурский

Обоснована возможность создания малогабаритного ударного стенда для испытаний микромеханических датчиков на ударные импульсы высоких уровней (тысячи g), разработаны методики выбора принципиальных и схемных решений. Рассчитаны основные параметры разрабатываемого стенда, показана возможность достижения ускорения более $10000 g$ при сравнительно небольших скоростях соударения и допустимой длительности удара. Предварительные расчеты показали, что при расширении пределов изменения параметров стенда и оптимизации конструкции, можно повысить уровень воспроизводимых ускорений в 3–4 раза.

Ключевые слова: микромеханический гироскоп, удар, стенд, ускорение.

В настоящее время микромеханические инерциальные датчики (гироскопы и акселерометры) выпускаются серийно и нашли широкое применение. Малые массы и габариты, низкое энергопотребление и невысокая стоимость микромеханических датчиков создают возможности их использования в широком классе систем навигации и управлении движением [1]. Расширение областей их применения требует повышения их ударопрочности и ударостойкости. Реальные уровни этих показателей должны подтверждаться испытаниями. Испытания обычно требуются на многих этапах обработки опытных образцов.

Существующее испытательное оборудование, стенды для испытаний не приспособлены для оперативных испытаний микромеханических приборов, их громоздкие конструкции создавались для испытаний крупногабаритных приборов и комплексов. Эти установки занимают большие площади и потребляют много электроэнергии, проведение испытаний на них требует значительных временных и финансовых затрат. Такое оборудование не позволяет оперативно, на последовательных этапах разработки, осуществлять испытания вновь создаваемых или усовершенствованных вариантов микромеханических приборов. Вследствие значительных габаритов и необходимости обеспечения большой грузоподъемности стенды не позволяют получать ударные ускорения выше $2000 g$. Дополнительно серьезные трудности возникают и при полунатурном моделировании, когда часть функций преобразования сигналов от собственной электроники прибора передается компьютеру.

Для отечественного приборостроения актуальной является необходимость создания испытательного оборудования, которое давало бы возможность оперативно проводить механические испытания миниатюрных приборов в любых помещениях, на малых площадях, без привлечения специального персонала. На основе проведенных предварительных исследований в работе будет показано, что для испытаний на короткие удары имеются реальные возможности создания и разработки таких малогабаритных стендов для испытаний, например, однокомпонентных микромеханических микроскопов (ММГ) [2], которые могли бы устанавливаться на столе, но при этом позволяли бы воспроизводить ударные ускорения более $10000 g$.

Ударные воздействия с большими пиковыми значениями перегрузок ($10^3 g$ – $10^5 g$ и более) характерны для подвижных объектов, быстро набирающих большие скорости (порядка 10^3 м/с). На всех известных ударных стендах ударный импульс создается при торможении на коротком расстоянии от существенно меньшей набранной скорости. Выполнение при испытаниях на стендах обоих указанных условий (большие ускорения и большие приращения скорости), для чего необходимы большие длительности ударных импульсов (секунда или десятые доли секунды), практически невозможно. Однако длительность ударных импульсов на малогабаритные датчики с высокими собственными частотами можно значительно сокращать, сохраняя количественную меру воздействия. При представлении механических свойств микромеханического прибора, как колебательной системы с низшей собственной частотой ω_0 показано [3], что условие эквивалентности по деформациям при воздействии ударных импульсов длительности T имеет вид $\omega_0 T < M$, где M – безразмерное число порядка десяти. Иначе говоря, при сохранении того же эффекта ударного воздействия, длительность импульса может быть сокращена в десятки раз, до десятых миллисекунды. При этом соответствующее приращение скорости должно быть порядка десятков метров в секунду, что возможно получить на малогабаритных стендах. Для воспроизведения необходимых ударных импульсов предложено использовать в конструкции стенда энергию сжатых пружин (рисунок).

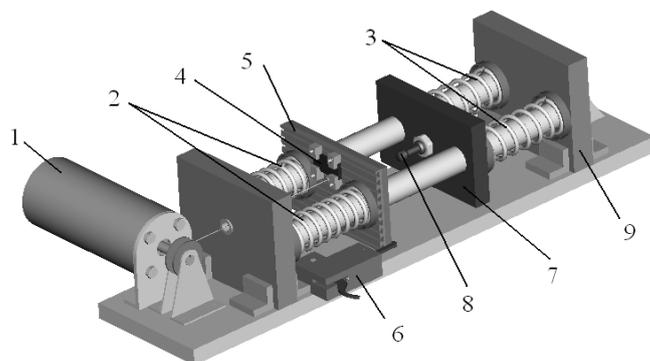


Рисунок. Модель конструкции ударного стенда: 1 – привод; 2 – пружины запуска; 3 – пружины торможения; 4 – ММГ; 5 – стол; 6 – задвижка; 7 – наковальня; 8 – подушка; 9 – основание

В представленной схеме приводом 1 при помощи троса подтягивается стол 5 с установленными микромеханическими датчиками 4. Тем самым максимально сжимаются пружины 2, которые являются механизмом запуска. Для фиксации стола во взведенном состоянии служит задвижка 6, освобождающая энергию пружин при готовности к эксперименту. При ударе стол контактирует с наковальней 7 через подушку 8, вся система дополнительно амортизируется пружинами 3. Очевидно, что стол будет совершать несколько движений и отскоков, что, в свою очередь, сильно исказит задаваемую форму ударного импульса. Для исключения этого эффекта необходимо предусмотреть запорный механизм. В предложенной схеме эту роль играет задвижка.

Требуемый ударный импульс создается при торможении на коротком пути с помощью специальных средств, таких как регулируемая подушка, пружины запуска и амортизационные пружины.

Для моделирования ударного воздействия рассчитаны отгалкивающие пружины, основные параметры которых представлены в таблице. При сравнительно небольших размерах пружин можно получить скорость подвижной части перед ударом около 40 м/с.

Моделирование посредством модуля Mechanism программы Pro/ENGINEER показало, что при допустимой длительности удара 0,5 мс представляется возможным получить максимальное значение ударного ускорения в несколько раз больше 5000 g. Можно предполагать, что при расширении пределов изменения задаваемых параметров и за счет оптимизации конструкции можно значительно повысить уровень воспроизводимых ускорений. Подлежащие разработке настольные стенды с такими характеристиками при хорошей конструктивной проработке позволят удовлетворить потребности испытаний на удар малогабаритных датчиков и микроэлектронных устройств и превзойти характеристики отечественных и зарубежных ударных стендов.

№	Параметр пружины	№ варианта		
		1	2	3
1	Наружный диаметр пружины, мм	55	50	50
2	Диаметр проволоки, мм	10,0	6,5	6,0
3	Полное число витков	18	18	18
4	Макс. усилие сжатия, Н	8222	2500	1870
5	Макс. касат. напряжение, МПа	1270	1233	1170
6	Масса пружины, кг	1,6	0,67	0,55
7	Жесткость пружины, Н/мм	65	12,5	10
8	Скорость перед ударом, м/с	43	31	20
9	Максимально возможное ускорение при «длинном» ударе, g (м/с ²)	15000 g (150000)	10500 g (105000)	17000 g (170000)
10	Тормозной путь, мм	21	16	14

Таблица. Параметры конструкции стенда

Для проектировщиков и наладчиков микромеханических датчиков, в первую очередь ММГ, необходимо иметь малогабаритные стенды, на которых можно было бы оперативно проводить испытания вновь изобретаемых или усовершенствованных датчиков. Показана реальная возможность создания таких стендов для исследования ударостойкости.

Разработана конструкция ударного стенда, рассчитаны характеристики стенда, включая параметры пружин, скорость перемещения стола, достигаемое линейное ускорение, массогабаритные характеристики. Выполнено моделирование движения стола, которое показало достижимость заявленных параметров. Приведенные данные свидетельствуют о реализуемости выдвинутых положений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 10-08-00153-а.

1. Евстифеев М.И. Проблемы расчета и проектирования микромеханических гироскопов // Гироскопия и навигация. – 2004. – № 1. – С. 27–39.
2. Пешехонов В.Г. Микромеханический гироскоп, разрабатываемый в ЦНИИ «Электроприбор» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 2. – С. 29–31.
3. Челпанов И.Б. Автоматические технологические машины и оборудование. Испытания машин. – СПб: СПбГПУ, 2008. – 296 с.

Елисеев Даниил Павлович – ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», инженер-конструктор, eliseev.dp@gmail.com

Серебряков Валентин Павлович – ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», инженер-конструктор, new2006box@rambler.ru

Чапурский Алексей Петрович – ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», инженер-конструктор, alexchap3@yandex.ru