

электронный журнал

МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Издатель: ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

УДК 531.383.-11

Обзор современных микромеханических датчиков угловой скорости

Студент,

кафедра «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации»: Токарев Д.К.

Научный руководитель: А.В. Кулешов,

к. т. н., доцент кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

tokarev91@mail.ru

Развитие технологий и постоянно возрастающие потребности различных областей техники в наличии малогабаритных устройств, способных при этом демонстрировать хорошую стабильность характеристик и высокую точность, делают актуальными разработки в области микромеханики. При этом не стоит полагать, что приставка «микро-» характеризует лишь размеры готового датчика- это не совсем так. Безусловно, огромные усилия в последние годы направлены на сведение габаритов таких устройств к минимуму, и новейшие достижения в этом направлении уже позволяют оперировать элементами с размерами на уровне микрометров.

В то же время приставка «микро-» характеризует и технологический процесс изготовления таких датчиков, поскольку сам датчик состоит из множества микроструктур. Эти микроструктуры в большинстве своем вытравливаются из кристаллов кремния-основного материала микроэлектроники. На современном этапе развития именно технология обработки кремния позволяет достичь структур столь малых размеров. Но все-таки нет каких-либо точных рамок, ограничивающих понятие «микромеханика», и правильнее, наверное, будет полагать, что оно относится одновременно как к технологии изготовления микромеханических приборов и систем, так и к современным тенденциям минимизации размеров самих датчиков, представляющих собой совокупность микромеханических структур.

МДУС представляет собой микроэлектромеханическую систему (сокращенно МЭМС), а именно совокупность механических и электрических электронных компонентов. Механическая часть любого МДУСа представляет собой двухстепенной гироскоп в упругом подвесе. Такой гироскоп позволяет обнаружить вращение основания в абсолютном пространстве вокруг оси, по которой у него нет степени свободы. В настоящее время существует множество конструктивных схем микромеханических гироскопов, но принцип действия любой из них основывается на том, что при задании периодического движения (первичных колебаний) подвижной части гироскопа и появлении переносного вращения возникают вторичные колебания, характер которых позволяет судить о параметрах вращательного движения.

Среди современных отечественных МДУСов можно выделить:

1) Микромеханический гироскоп ММГ-2 изготовленный ЦНИИ «Электроприбор» по

схеме вибрационного RR-гироскопа с внутренней торсионной подвеской, электростатическим возбуждением первичных колебаний, емкостным съемом информации с использованием технологии «кремний на изоляторе». Данный прибор обладает следующими характеристиками:

- диапазон измерения составляет $\pm 300^{\circ}/\text{с}$,
- нестабильность смещения нуля не превышает $150^{\circ}/\text{ч}$ (при доверительном интервале 3σ),
- плотность шумов (при цифровой передаче данных) менее $0,05^{\circ}/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$,
- полоса пропускания 40 Гц,
- габариты прибора $50 \times 18 \times 50$ мм,

-масса не выходит за пределы 50 г.
 Данный прибор находится на стадии разработки. Он имеет два исполнения (Рис. 1, Рис. 2):



Рис. 1



Рис. 2

МДУС ММГ-2 ЦНИИ «Электроприбор» МДУС ММГ-2 ЦНИИ «Электроприбор»

2) МДУС, разработанный Раменским приборостроительным КБ выполнен по схеме кольцевого волнового гироскопа, изготавливаемого из кремния.

Характеристики данного прибора таковы:

- диапазон измерения составляет $\pm 100^{\circ}/\text{с}$,
- постоянная составляющая дрейфа находится в диапазоне $\pm 0,3^{\circ}/\text{с}$,
- случайная составляющая дрейфа не превышает $0,1^{\circ}/\text{с}$,
- габариты прибора: $35 \times 35 \times 30$ мм, а непосредственно гироскопа $\varnothing 26 \times 12$ мм,
- масса равна 40г.

Внешний вид прибора представлен на рис.3:



Рис. 3

МДУС РПКБ

3) НИИ ПМ им. Кузнецова изготавливает МДУС с использованием технологии объемного травления по схеме вибрационного RR-гироскопа.

Изготовителем заявлены следующие характеристики:

- диапазон измерения $\pm 20^{\circ}/\text{с}$,
- случайная составляющая дрейфа находится на уровне $50^{\circ}/\text{ч}$ (при доверительном интервале равном σ),

- плотность мощности шума составляет $0,05^0/\sqrt{\text{Гц}}$,
- габаритные размеры чувствительного элемента равны $\varnothing 35 \times 15$ мм,
- масса чувствительного элемента 18г.

Разработка приборов находится на стадии изготовления опытных образцов.

4) Датчики угловых скоростей ДУС-1 и ДУС-2 выпускаются ОАО «ЭЛПА». Разработкой данных приборов занималась кафедра «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации»

МГТУ им. Н.Э. Баумана. Чувствительным элементом в приборе является металлическая балка, подвешенная с помощью упругих мембран в корпусе прибора. Возбуждение колебаний балки и съем информации о ее движении выполняются с помощью пьезоэлементов.

ДУС-1 имеет следующие характеристики:

- диапазон измерения ± 600 °/с,
- дрейф нуля за 30 секунд не более $\pm 0,5$ °/с,
- габаритные размеры составляют $30 \times 30 \times 50$ мм,
- масса не превышает 100г.

Характеристики ДУС-2 таковы:

- диапазон измерений ± 8000 °/с,
- габаритные размеры составляют $30 \times 30 \times 50$ мм,
- масса не превышает 100г.

Внешний вид датчиков (Рис.4):

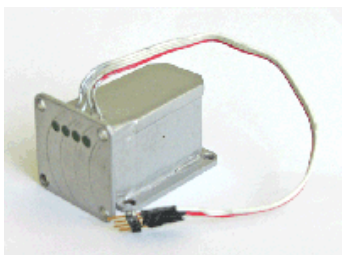


Рис. 4
ДУС-1 и ДУС-2 фирмы ОАО «ЭЛПА»

Оба датчика подготовлены к серийному производству.

5) Кроме датчиков ДУС-1 и ДУС-2 ОАО «ЭЛПА» производит МДУС МПГ-1. Разработан данный прибор кафедрой «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Чувствительным элементом является керамическая балка.

МПГ-1 обладает следующими характеристиками:

- диапазон измерений ± 300 °/с,
- дрейф нуля за 30 секунд не превышает $\pm 0,06$ °/с,
- габаритные размеры равны $10 \times 20 \times 30$ мм,



Рис. 5
МДУС МПГ-1 фирмы ОАО «ЭЛПА»

6) Отечественная фирма i-Sense некоторое время назад выпускала собственный МДУС, но в настоящее время использует гирочип, изготавливаемый в Швеции фирмой Silix Microsystems. Чувствительный элемент представляет собой микрокамертон.

Характеристики данного датчика следующие:

- диапазон измерений ± 300 °/с,
- нестабильность нуля в запуске ± 5 °/ч (при доверительном интервале σ),
- нестабильность нуля долгосрочная ± 50 °/ч (при доверительном интервале σ),
- случайное блуждание $0,0025$ °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$,
- полоса пропускания 100 Гц,
- габаритные размеры 13×6×2 мм.

Датчик изготавливается серийно.

Внешний вид гирочипа представлен на рис. 6:

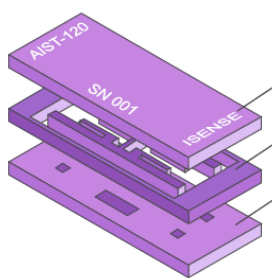


Рис. 6
Гирочип фирмы i-Sense

Среди современных зарубежных МДУСов можно выделить:

1) МДУСы, представленные фирмой STMicroelectronics. Все датчики, взятые для сравнительного анализа, имеют одну измерительную ось. В приборах реализованы RR схемы вибрационных гироскопов. Все три датчика изготавливается серийно.

Характеристики датчиков представлены в таблице 1.

Таблица 1

	LY330ALH	LY3100ALH	LY3200ALH
Диапазон измерений	± 300 °/с	± 1000 °/с	± 2000 °/с
Температурная стабильность нуля (н. у. 25 °С)	0,02 °/с/°С	0,02 °/с/°С	0,09 °/с/°С
Плотность шумов	0,014 °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$,	0,016 °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$	0,074 °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$
Полоса пропускания	140 Гц		
Габаритные размеры	3×5×1 мм		

2) Фирма Analog Devices имеет на данный момент самую широкую линейку МДУСов. Для анализа были выбраны три модели, имеющие одну ось измерения.

Заявленные производителем характеристики датчиков приведены в таблице 2:

Таблица 2

	ADXRS450	ADXRS623	ADXRS652
Диапазон измерений	± 300 °/с	± 150 °/с	± 250 °/с
Стабильность	± 3 °/с	± 20 °/с	$\pm 2\%$

характеристик	(дрейф нуля)	(нестабильность нуля в диапа. температур от -40 °С до +105 °С)	(температурная стабильность характеристик)
Плотность шумов	0,015 °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$,	0,04 °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$	0,06 °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$
Полоса пропускания	80 Гц	3000 Гц	2500 Гц
Габаритные размеры	10,3×7,8×2,2 мм	7×7×3 мм	7×7×3 мм

Все датчики изготавливаются серийно.

3) МДУС ENC03-R компании **muRATA** изготовлен по схеме пьезокерамического балочного гироскопа.

Он имеет следующие характеристики:

- диапазон измерений ± 300 °/с,
- полоса пропускания 50 Гц,
- габаритные размеры 8×4×2 мм.
- масса 0,2 г.

Датчик изготавливается серийно.

4) Фирма Systron Donner производит кварцевый МДУС LCG50. Прибор изготавливается в четырех вариациях. Датчик изготавливается серийно.

Характеристики датчиков приведены в таблице 3:

Таблица 3

	LCG50-00020-100	LCG50-00100-100	LCG50-00250-100	LCG50-00500-100
Диапазон измерений	± 20 °/с	± 100 °/с	± 250 °/с	± 500 °/с
Температурная стабильность нуля	10 °/с	8 °/с	10 °/с	20 °/с
Плотность шумов	$\leq 0,005$ °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$	$\leq 0,005$ °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$	$\leq 0,006$ °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$	$\leq 0,01$ °/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$
Полоса пропускания	>50 Гц			
Габаритные размеры (вместе с платой)	29,4×29,4×10,7 мм			
Масса	<12 г.			

Внешний вид датчика (Рис. 7):

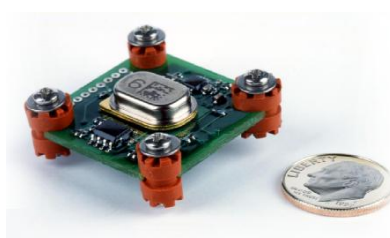


Рис. 7
МДУС LCG50 фирмы Systron Donner

5) Фирма Silicon Sensing предлагает одну из самых широких линеек кольцевых МДУС. Последним достижением является прибор CRS09. Он имеет следующие характеристики:

- диапазон измерений $\pm 200^\circ/\text{с}$,
- стабильность нуля составляет $3^\circ/\text{ч}$,
- плотность шумов $0,0017^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$,
- полоса пропускания 55 Гц,
- габаритные размеры $63 \times 63 \times 19$ мм,
- масса 60 г.

Недавно разработанная новая серия «PinPoint» отличается гораздо меньшими габаритами. Самый миниатюрный МДУС имеет размеры $5.7 \times 4.8 \times 1.2$ мм. Все датчики данной серии имеют следующие характеристики:

- диапазон измерений от $\pm 75^\circ/\text{с}$ до $\pm 1000^\circ/\text{с}$
- стабильность нуля составляет от $24^\circ/\text{ч}$ до $40^\circ/\text{ч}$ при периоде интегрирования менее 1 с.,
- плотность шумов $0,018^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$,
- случайное блуждание $0,0047^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$,
- полоса пропускания 160 Гц.

Внешний вид датчиков представлен на рис. 8:

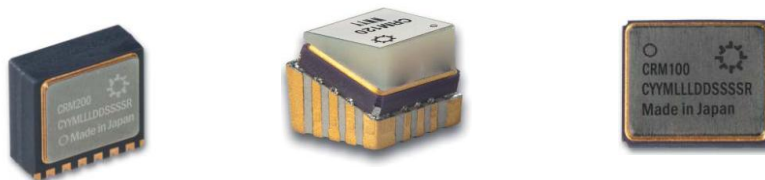


Рис. 8
МДУСы «PinPoint» фирмы Silicon Sensing

Все датчики изготавливаются серийно. Представленные микромеханические датчики угловой скорости составляют малую часть всех МДУСов, которые производятся в настоящее время. Дальнейшее исследование будет связано с более подробным сравнительным анализом существующих датчиков. На его основе можно будет спрогнозировать возможные и наиболее перспективные направления применения МДУСов.