



3. Ivaschenko A., Kolsanov A., Nazaryan A. Surgery assistant based on augmented reality // Proceedings of the 2017 European Simulation and Modeling Conference (ESM 2017), Lisbon, Portugal, EUROSIS-ETI. – pp. 390 – 393
4. Tobii Ай-трекинг – технология управления компьютером с помощью взгляда <https://www.tobii.ru/>
5. Lyamin A.V., Cherepovskaya E.N. An approach to biometric identification by using low-frequency eye tracker//IEEE Transactions on Information Forensics and Security, IET - 2017, Vol. 12, No. 4, pp. 881 – 891
6. Cherepovskaya E.N., Lyamin A.V. An evaluation of biometric identification approach on low-frequency eye tracking data//Proceedings of the IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2017), IET - 2017, pp. 123 – 128

М.Е. Калинкина

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики)

Развитие данной области науки и техники началось в 1960-х гг., однако вопросы теоретического и практического характера остаются нерешенными и, становятся все более сложными из-за растущих требований к системам автоматического контроля и мониторинга

Спустя десятилетия, характеристики микроэлектромеханических системы (MEMS) - датчиков значительно улучшились, сделав их ключевым сегментом на текущем рынке технологий MEMS [1], включая инновации в виде интегрированных комбинированных датчиков (модулей, инерциальных блоков) [2].

Датчики MEMS - это ключевая технология разработки миниатюрных инерциальных навигационных систем [3]. Также они характеризуются высокой надежностью и высокой нагрузкой [1]. Эти функции привели к быстрому расширению областей применения. Технология MEMS создала новый сегмент рынка инерционной навигации, а именно навигацию беспилотных летательных аппаратов, автомобильной промышленности, персональных навигаторов и т. д.

Расширение области применения инерциальных датчиков приводит к разработке устройств с меньшими параметрами, такими как вес, размер, энергопотребление и себестоимость, которые выполняют функцию с абсолютной точностью [3]. Поэтому датчики линейного ускорения MEMS и датчики угловой скорости, становятся все более популярными в сочетании со встроенными электронными компонентами.

В настоящее время принято подразделять уровни мощности инерционных датчиков на сегменты устройств с высоким и низким диапазоном [2]. В сегменте высокопроизводительных MEMS понимаются как устройства, способные



обеспечивать достаточно точные тактические характеристики, а также системы, используемые в военных, аэрокосмических и специальных применениях. Обычно эти датчики недостаточно хороши для этого сегмента, но они подходят для низкочастотных технологий, включая автомобили, смартфоны и современные планшеты, квадроциклы и мелкие бытовые приборы.

Существует большая разница между устройствами для высокопроизводительных и низкопроизводительных систем. Первый уровень состоит из автомобильных датчиков и даже датчиков низкой подвижности, индивидуальных или в комбинации. Следующий уровень - это промышленный класс. Разница этих категорий в калибровке датчиков. Инерционные навигационные системы используются в небольших коммерческих транспортных средствах, включая краткосрочную навигацию с потерей сигнала GPS. Верхний уровень - морская или воздушная навигация, а также космическое, военное и морское оборудование, которое требует навигационных спецификаций или стратегических датчиков. Стратегический уровень включает межконтинентальные баллистические ракеты [4].

Акселерометры, которые в настоящее время существуют на розничном потребительском рынке, недостаточно хороши для использования в высокопроизводительном сегменте. Однако именно они инициировали разработку инерционных датчиков MEMS, которые в конечном итоге обеспечили возвращение инерционных датчиков в сегмент высокопроизводительных в MEMS исполнении. Технологическое развитие, которое привело к переходу от автономных датчиков к интегрированным блокам инерционных измерений и комбинированных датчиков, потребовало впоследствии оптимизации существующих технологий и внедрения новых [3].

Слияние датчиков, значительное сокращение количества корпусов, - все это достижения потребительской электроники за последние годы, которые сегодня можно использовать в сегменте высокопроизводительных. Тем не менее, влияние потребительского рынка в сегменте высокопроизводительных подходит к концу. Этот рынок требует стабильных и высокоточных датчиков, разработка которых на основе технологии MEMS требует значительных усилий со стороны производителей.

Сегодня производители микромеханических датчиков готовы предоставить микромеханические акселерометры (ММА) и модули на их основе, уровень которых тактичен, т.е. высокопроизводителен. Основные характеристики MEMS, доступные на текущем уровне, определяются для акселерометров в 1 мг.

Основные производители акселерометров стремятся уменьшить нестабильность смещения менее 1 мг.

### **Заключение**

Усовершенствования в области технологий корпусирования, микропроизводства, электронных систем обработки сигналов и новых предложений для компонентов MEMS для сегмента высокого уровня последних лет, улучшают свойства ММА и модулей на их основе и выведут эти датчики на новый уро-



вень навигации в следующем десятилетии. Можно сделать вывод, что разработка инерционных датчиков влияет на их появление в инновационных приложениях и приводит к появлению новых квот спроса и предложения на рынке MEMS.

### Литература

1. Пат. RU 2 486 468 (C1), МПК7 G01 C19/56. Измеритель угловой скорости // Некрасов Я.А. (RU); заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электроприбор" (RU) – No 2012103742/28; заявл. 31.01.2012; опубл. 27.06.2013 – 2 с. – 0,04 п.л.

2. Куликов К. В., Микроэлектромеханические устройства систем связи : учеб. пособие / К. В. Куликов, В. Н. Ланцов ; Владимир. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. – 11- 34, 48 с.

3. Пат. RU 2371378 (C2), МПК7 B81 C 5/00. Микромеханический компонент и способ его изготовления // Гайгер Вольфрам (DE), Бренг Уве (DE); заявитель и патентообладатель ЛИТЕФ ГМБХ (DE) – No 2007133922/28; заявл. 03.04.2006; опубл. 27.10.2009 – 2 с. – 0,04 п.л.

4. Гуртов, В. А. Микроэлектромеханические системы : учебное пособие для студентов физико-технических специальностей университетов / В. А. Гуртов, М. А. Беляев, А. Г. Бакшеева ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Петрозав. гос. ун-т. - Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2016. – 9-18, 70-72с

А.Н. Косыгин

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ

(Самарский университет)

Метод фотоупругости (поляризационно-оптический метод) – это метод определения внутренних напряжений в прозрачных телах, которые полагаются изотропными в ненапряженном состоянии. Он позволяет определять распределение напряжений (деформаций) без использования аппарата математической теории упругости. Получаемые в результате эксперимента фотоупругости данные используются для вычисления разности главных напряжений в точках модели по закону Вертгейма

$$\sigma_1 - \sigma_2 = N \frac{f_\sigma}{h},$$

здесь  $\sigma_1, \sigma_2$  – главные напряжения,  $N$  – порядковый номер полосы,  $f_\sigma$  – цена полосы материала (материальная постоянная, определяемая в ходе тарировки),  $h$  – толщина испытуемого образца [1]. Таким образом, необходимо знать в каждой экспериментальной точке ее координаты и номер изохромы, которой она принадлежит. Использование данного метода целесообразно и оправданно для