

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ. СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК И ПРОИЗВОДСТВА. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ, ОБЪЕМЫ РЫНКА

Е. А. Мокров

В статье приводятся некоторые сведения о мировом рынке датчиков и тенденциях его развития, излагается общая характеристика направлений разработок и производства в НИИФИ (г. Пенза) широкой номенклатуры датчиков физических величин специального и общепромышленного назначения на основе микроэлектронных технологий. Отмечаются наиболее потенциально емкие сферы применения датчиков, в направлении которых работает институт.

В 2000 году НИИ физических измерений исполняется 40 лет. Несмотря на спад объемов работ по созданию новых изделий, объем общего производства датчиков в институте растет. Средства производства, особенно микроэлектронное оборудование, работают на полную мощность, оказалась востребованной практически вся номенклатура разработанных интегральных датчиков (ИД) и других средств телеизмерений. Этому способствовал ряд обстоятельств. Во-первых, серийные заводы, которым была передана конструкторская и технологическая документация, снизили объемы производства или вообще прекратили выпуск датчиков и, во-вторых, институт резко увеличил объемы разработок и поставок по конверсионным программам для предприятий атомной энергетики, топливно-энергетического комплекса, черной металлургии, железнодорожного и автомобильного транспорта. В третьих, удалось сохранить основной состав научных и инженерно-технических работников, принять и обучить значительный контингент молодых рабочих. В четвертых, удалось сохранить работоспособным технологическое микроэлектронное оборудование, метрологическую и испытательную базу. Все это было осуществлено при значительной поддержке Российского авиационно-космического агентства.

НИИФИ располагает возможностями для разработки и производства интегральных тензорезисторных тонкопленочных датчиков абсолютного и избыточного давлений, емкостных тонкопленочных датчиков абсолютного давления и разности давлений, пьезорезисторных датчиков абсолютного и избыточного давлений, пьезоэлектрических датчиков быстропеременных и акустических давлений, тензорезисторных фольговых датчиков деформаций и силы, емкостных и фотооптических автокомпенсационных датчиков, линейных ускорений, индуктивных, вихретоковых и индуктивно-трансформаторных датчиков линейных и угловых перемещений, индукционных и волоконно-оптических датчиков оборотов, терморезисторных датчиков температуры.

Наряду с созданием широкой номенклатуры конструкторской документации на датчики разработаны базовые и уникальные технологические процессы. Так, НИИФИ обладает комплектами типовых технологических процессов изготовления чувствительных элементов тонкопленочных тензорезистивных и емкостных датчиков давления; комплектом типовых технологических процессов изготовления упругих чувствительных элементов акселерометров из кварца; комплектом типовых технологических процессов электрохимического полирования упругих элементов из сплавов с заданными свойствами упругости, в том числе из элинваров.

Разработаны и освоены в производстве следующие технологические процессы:

- изготовление металлостеклянных соединений;
- герметизация электроннопреобразующей аппаратуры методом пайки;
- электростатическое соединение деталей из кремния с деталями из стекла;
- соединение кремниевых мембран с корпусом из металла или керамики;
- изготовление деталей из муллитовой керамики, согласованной по ТКЛР с кремнием;
- заливка блоков РЭА с бескорпусными элементами вибропрочным компаундом;
- формирование сложнорельефных кремниевых кристаллов для чувствительных элементов линейных акселерометров;
- формирование монокристаллических тензо- и терморезисторов с заданным уровнем легирования примесью в кремниевой подложке;
- формирование поликристаллических тензо- и терморезисторов с заданным уровнем легирования на покрытой диэлектриком подложке;
- плазмохимическое травление кремния при разделении пластин на кристаллы круглой формы с диаметром до 20 мм;
- прецизионное размерное формообразование методом химического травления сложноконтурных сквозных пазов и упругих перемычек ЧЭ из кварцевого стекла;
- высокопрочное неразъемное соединение деталей из щелочных стекол с деталями из кремния в электростатическом поле высокого напряжения;
- прецизионная электроискровая обработка непрофилированным электродом-инструментом сложных закрытых профилей в деталях из трудно обрабатываемых материалов;
- прецизионное изготовление упругих элементов балочного типа методом электрохимикомеханического полирования в деталях из трудно обрабатываемых материалов;
- размерная обработка кремния для создания чувствительных элементов датчиков механических величин;
- изготовление кремниевых тензорезисторов на гибкой диэлектрической основе.

Общее количество датчиков НИИФИ, заказанных предприятиями различных отраслей на поставку в 1999 году, и распределение их по принципам действия представлено на рис.1.

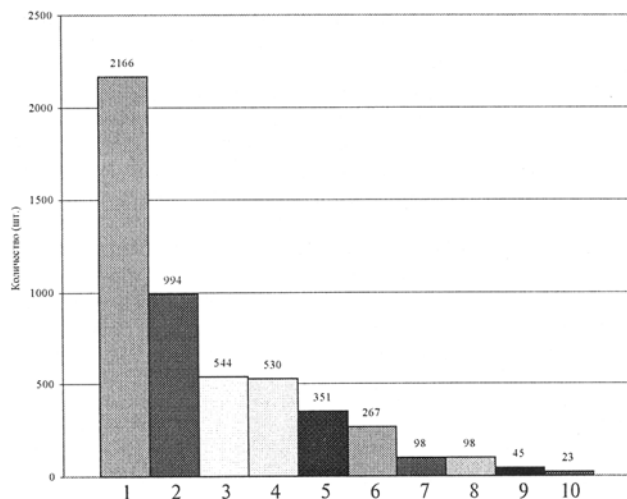


Рис. 1 Распределение по принципу действия датчиков НИИФИ, заказанных на поставку в 1999 г.:

1 – тензорезисторные; 2 – пьезоэлектрические; 3 – емкостные; 4 – терморезисторные; 5 – индукционные; 6 – потенциометрические; 7 – индуктивные; 8 – трансформаторные; 9 – пьезорезисторные; 10 – оптические.

Нетрудно заметить доминирующее положение интегральных тензорезисторных тонкопленочных и пьезоэлектрических датчиков давления. Это объясняется их достаточно высоким техническим уровнем вследствие глубокой конструкторско-технологической проработки и использования высоких технологий.

Одно перечисление номенклатуры освоенных НИИФИ принципов действия и технологий датчиков электронной аппаратуры говорит о больших настоящих и будущих возможностях института. Наибольшее применение датчиковая аппаратура НИИФИ имеет в ракетно-космической отрасли. Однако за последние 5—8 лет институтом проделана значительная работа по внедрению своих разработок в другие отрасли: нефтегазодобычу, металлургию, атомную энергетику, автомобильный и железнодорожный транспорт и др.

Определенные тенденции роста экономики в стране, сложившиеся в 1998—99 гг., сказываются положительно и на росте потребностей рынка датчиковой аппаратуры. Необходимо отметить, что рынок датчиковой аппаратуры в наиболее развитых странах на протяжении последних десятилетий имеет один из самых высоких показателей темпов роста в приборостроении.

Так, к 2000 г. объем производства датчиков достиг 13 млрд. долл. Надо заметить, что основной объем (86%) производства датчиков приходится на США, Европу и Японию. В 2000 г. объем производства только автомобильных датчиков составит 6,2 млрд. долларов. Применение датчиков и электронных систем на их основе резко повышают потребительские свойства автомобилей, особенно комфорт и безопасность, но вместе с тем и удорожает их стоимость. Доля электронных и электротехнических компонентов к 2000 г. будет составлять около 25 % общей стоимости автомобиля. Причем 3/4 от этого значения приходится на электронику. Основными датчиками, используемыми на автомобиле, являются датчики скорости, температуры, положения, вибрации, ускорения, давления (рис. 2). К 2000 г. стоимость автомобильных датчиков составит ~56% от стоимости всех датчиков.

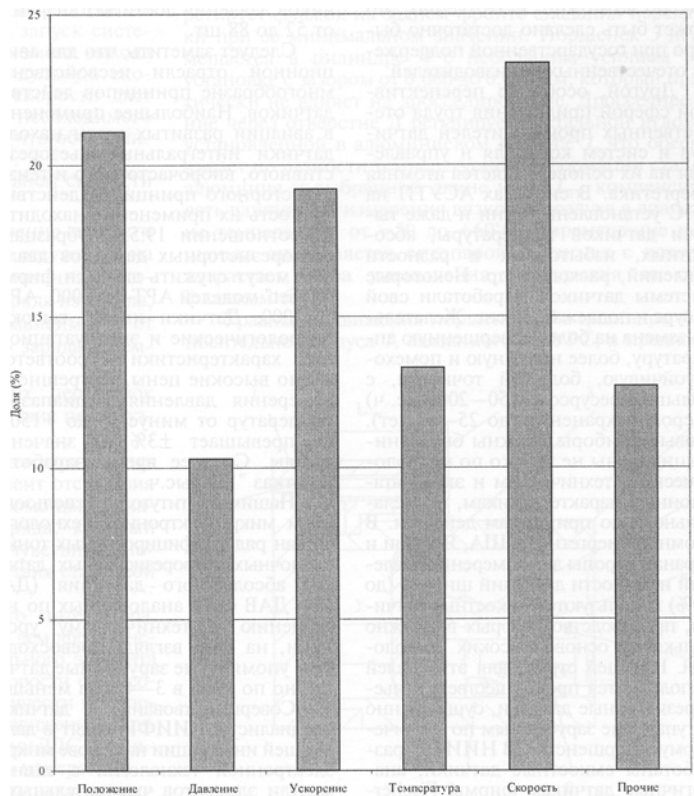


Рис. 2 Относительное распределение объемов рынков автомобильных датчиков по измеряемым физическим величинам к 2000 г.

Отечественным автомобилестроительным предприятиям в перспективе в массовом количестве потребуются датчики и измерительные системы на их основе для измерения: давления масла, давления в тормозной системе, давления в топливopроводах, давления воздуха, отношения давлений, положения рейки топливного насоса, положения кузова относительно горизонтали, нагрузки на ось транспортного средства, угла поворота дроссельной заслонки, уровня топлива, уровня охлаждающей жидкости, уровень масла в картере двигателя, числа оборотов колес и коленвала, температуры топлива, температуры масла, температуры охлаждающей жидкости, температуры воздуха во всасывающем коллекторе, температуры выхлопных газов, температуры воздуха в кабине, температуры наружного воздуха, градиента температуры и температурного режима подкапотного пространства. Также найдут широкое применение датчики детонации – широкополосные и узкополосные, датчики измерения скорости движения автомобиля, датчики перемещений педали газа и штока, открытия заслонки впрыска, датчик-свеча для одновременного создания искры и измерения быстропеременных давлений в камере сгорания, датчики системы антиблокировки колес автомобиля, датчики ускорений для систем безопасности (мешки безопасности и определения замедления движения автомобиля без торможения), датчики крутящего момента, бесконтактные датчики положения узлов и деталей автомобиля (дверей, люков, рукоятки ручного тормоза, стекол и др.), измеритель остаточной емкости аккумулятора, сигнализатор препятствий, сигнализатор опасного сближения двух транспортных средств, измерители скорости (в том числе относительно поверхности земли), сигнализатор речи для звуковой сигнализации, системы диагностики, мотортестер, система навигации, датчики для стенов компьютерной паспортизации, датчики для стенов балансировки колес, датчики для комплектации стенового оборудования для автоматизации сборки двигателей и автомобилей на конвейере.

Только ОАО "Автоваз" в год потребуется сотни тысяч датчиков наддува, датчиков массового расхода воздуха, датчиков концентрации кислорода, датчиков неровной дороги, датчиков абсолютного давления.

К настоящему времени перечисленные датчики приобретаются по импорту. Это объясняется недостаточным техническим уровнем отечественных датчиков, сравнительной дешевизной импортных, производимых массово, а также уже сложившимися производственными отношениями с зарубежными поставщиками. Занять этот рынок отечественными датчиками непросто, но возможно. Естественно, это может быть сделано достаточно быстро при государственной поддержке отечественных производителей.

Другой, особенно перспективной сферой приложения труда отечественных производителей датчиков и систем контроля и управления на их основе, является атомная энергетика. В системах АСУТП на АЭС установлены сотни и даже тысячи датчиков температуры, абсолютных, избыточных и разности давлений, расхода и др. Некоторые системы датчиков выработали свой ресурс и подлежат замене. Желательна замена на более совершенную аппаратуру, более надежную и помехоустойчивую, большей точности, с большим ресурсом (150—200 тыс. ч) и сроком хранения (до 25—40 лет). Новые приборы должны быть унифицированы не только по метрологическим, техническим и эксплуатационным характеристикам, но желательно и по принципам действия. В атомной энергетике США, Японии и странах Европы для измерения давлений и разности давлений широко (до 60%) используются емкостные датчики, производство которых возможно только на основе высоких технологий. В нашей стране для этих целей используются преимущественно пьезорезисторные датчики, существенно уступающие зарубежным по техническому совершенству. В НИИФИ разработаны емкостные датчики, аналогичные датчикам фирмы Fischer-Rousemaunt, и имеются все возможности для их производства и совершенствования. На наш взгляд, пьезорезисторные датчики уже не имеют таких возможностей, поскольку достигли высокого технического совершенства и кремниевая технология постепенно переориентируется с использованием кремния как конструкционного материала на производство емкостных и других чувствительных элементов датчиков давлений, ускорений, вибраций, влажности, газоанализаторов и др.

Другой отраслью, которая востребует особо совершенные датчики, является авиационная промышленность. Несмотря на существование Федеральной программы развития авиации, мы не располагаем достаточно надежными данными об объемах отечественного авиационного рынка датчиков.

Однако о направлениях развития и потенциальных объемах рынка датчиков авиационного назначения за период 1996—2005 гг. в Европе можно судить по ряду зарубежных источников. Всего за этот период должно быть произведено 8000 гражданских самолетов малой, средней и большой дальности. В зависимости от типоразмеров самолетов общее число только датчиков давления достигает значений от 52 до 88 шт.

Следует заметить, что для авиационной отрасли несвойственно многообразие принципов действия датчиков. Наибольшее применение в авиации развитых стран находят датчики интегральные пьезорезистивного, виброчастотного и тензорезисторного принципов действия. Частота их применения находится в соотношении 19:5:4. Образцами пьезорезисторных датчиков давления могут служить датчики фирмы "Kyliet" моделей АРТ-20-1000, АРТ-51-1000. Датчики имеют высокие метрологические и эксплуатационные характеристики и соответственно высокие цены. Погрешность измерения давления в диапазоне температур от минус 55 до +150°С не превышает $\pm 3\%$ от значения шкалы. Среднее время наработки на отказ 100 тыс. ч.

Нашим институтом с использованием микроэлектронной технологии создан ряд унифицированных тонкопленочных тензорезисторных датчиков абсолютного давления (ДАВ 084, ДАВ 085). аналогичных по назначению и техническому уровню, и, на наш взгляд, превосходящие упомянутые зарубежные датчики, но по цене в 3—4 раза меньше.

Совершенствование датчиков специалисты НИИФИ видят в дальнейшей интеграции на основе микроэлектронной технологии в единые модули элементов чувствительных к различным физико-химическим величинам, конструктивных элементов, элементов измерительных цепей, схем компенсации и преобразования; в расширении функциональных возможностей за счет микропроцессорной обработки информации.

Реализация практических результатов упомянутых исследований в НИИФИ осуществляется по специальным долгосрочным программам, согласованным с предприятиями авиационной и космической отраслей, министерствами атомной энергетики, автомобильной промышленности, черной металлургии.

Широкомасштабное применение интегральных датчиков (ИД) имеет место в вооруженных силах развитых стран. Датчики военного назначения и системы обработки данных создаются по специальным целевым программам.

По функциональному назначению ИД, делятся на датчики, применяемые в подсистемах на поле боя, датчики систем охраны военных объектов и датчики, монтируемые на военном персонале. Опыт использования датчиков в боевых условиях привел к выработке следующих основных требований к функциям ИД: измерение сейсмических колебаний; фиксация ИК-сигнатуры и измерение разности температуры $\pm 0,05^\circ\text{C}$; фиксация акустической сигнатуры вооружения, военной техники и персонала; фиксация электромагнитной сигнатуры двигателей внутреннего сгорания и их систем зажигания; фиксация магнитных величин военной техники и ее идентификация; фиксация по одоральным признакам военного персонала, взрывчатых веществ и боеприпасов и другим направлениям.

В начале 80-х годов НИИФИ уже предпринимал ряд действий по организации исследований в вышеупомянутом направлении. В этой связи нам представляется исключительно актуальной подготовка целевой комплексной программы НИ-ОКР по разработке, освоению производства ряда унифицированных интегральных датчиков и на их основе систем измерения, контроля и управления

двойного назначения, в том числе для комплектации вооружений и военной техники на период 2000—2003 гг. и до 2010 г.

В заключение необходимо подчеркнуть, что датчиковая аппаратура является одной из наиболее важных составных частей информатики в целом, развитие которой определяет в конечном счете уровень цивилизации страны.

Евгений Алексеевич Мокрое — канд. техн. наук, действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, директор НИИ физических измерений. E-mail: nufl@sura.com.ru