

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

УДК 681.586

DOI: doi.org/10.25728/datsys.2019.12.5

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

STAGES OF DEVELOPMENT AND BASIC IMPROVEMENT TRENDS OF PHYSICAL QUANTITIES SENSORS INTENDED FOR SPACE-ROCKET HARDWARE

Мусаев Руслан Шабанович

канд. техн. наук,

зам. ген. директора-гл. конструктор

E-mail: polim@mail.ru

Здобнов Сергей Александрович

зам. гл. конструктора

E-mail: sa_zdobnov@mail.ru

Трофимов Алексей Анатольевич

д-р техн. наук, гл. научн. сотрудник

E-mail: unc@niifi.ru

Цибизов Павел Николаевич

канд. техн. наук, нач. отдела

E-mail: cibizov.paul@yandex.ru

**АО “Научно-исследовательский институт
физических измерений”, Пенза**

Аннотация: Рассмотрены основные направления развития датчиков для систем мониторинга и контроля технически сложных объектов ракетно-космической техники. Предложены варианты расширения эксплуатационных возможностей, увеличения точности и надежности перспективных датчиков. Проведен анализ тенденций совершенствования систем телеизмерений, контроля, диагностики и управления. Рассмотрены проблемы, связанные с развитием технологии изготовления датчиковой аппаратуры. Изложены основные тенденции развития технологии датчиков.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, датчиковая аппаратура, дестабилизирующие факторы, интеллектуальный датчик.

Musaev Ruslan Sh.

Ph. D. (Tech.),

Deputy General Director- Chief Designer

E-mail: polim@mail.ru

Zbodnov Sergey A.

Deputy Chief Designer

E-mail: sa_zdobnov@mail.ru

Trofimov Aleksey A.

D. Sc. (Tech.), Chief Scientific Officer

E-mail: unc@niifi.ru

Tsibizov Pavel N.

Ph. D. (Tech.), Head of Department

E-mail: cibizov.paul@yandex.ru

**Research Institute for Physical Measurements, JSC,
Penza**

Abstract: Basic development trends of sensors intended for monitoring systems and control over complicated objects of the space-rocket-hardware were considered. Different options for operation capacities extension as well as accuracy and reliability of perspective sensors increasing were proposed. Improvement trends analysis of telemetry, control, diagnosis and driving systems was performed. Problems connected with a technology development of the sensor and transforming equipment were considered. Basic improvement trends of sensor technologies were stated.

Keywords: space-rocket hardware, sensor equipment, destabilizing factors, smart sensor.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость получения информации о физических процессах, технических характеристиках систем и агрегатов, сведений о функционировании и взаимодействии комплектующих систем, о проводимых на борту научных экспериментах и

исследованиях требует создания специальных датчиков для ракетно-космической техники (РКТ).

С развитием РКТ расширяется спектр контролируемых параметров, улучшаются точностные, эксплуатационные и надежностные характеристики, что стимулирует интенсивное развитие датчиковой аппаратуры. Совершенствование датчи-

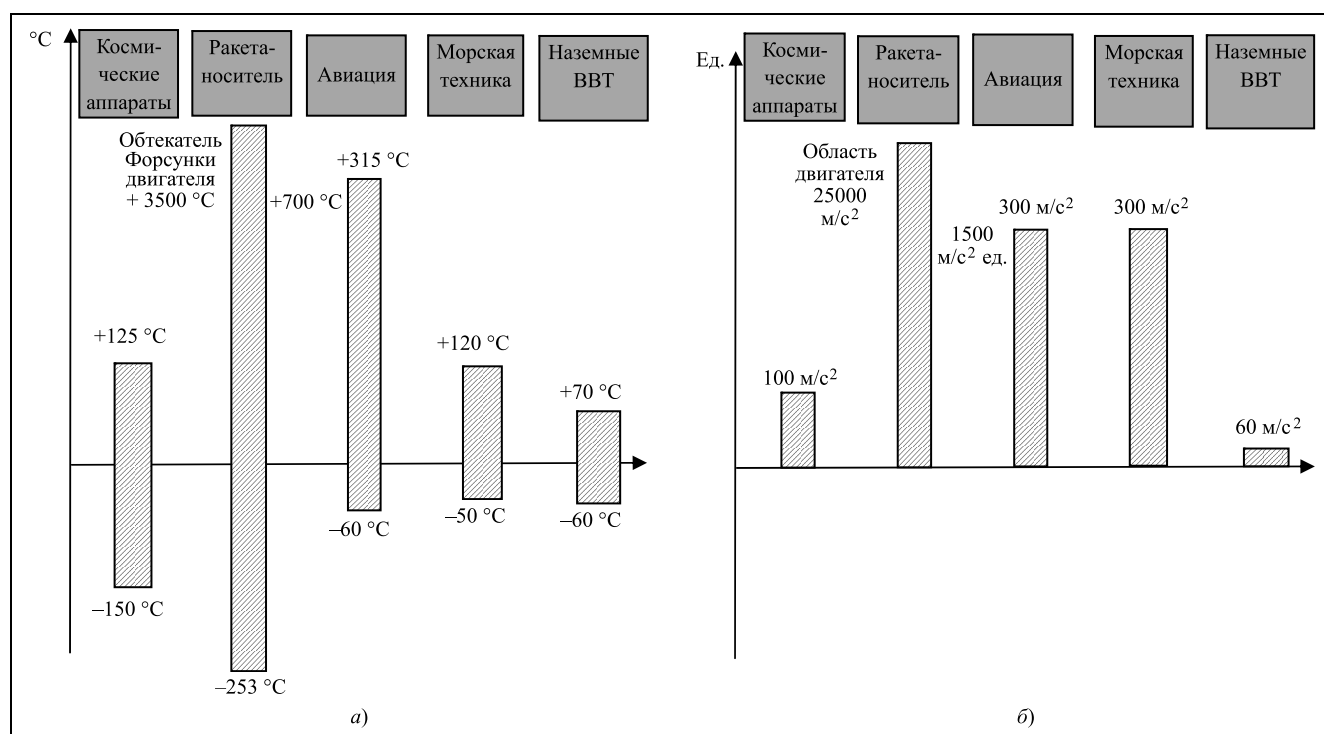


Рис. 1. Диапазоны воздействия дестабилизирующих факторов:
 а — температуры, °C; б — вибрации, м/с²

ковой аппаратуры, расширение ее номенклатуры и возможностей в свою очередь позволяет получать более полную и высококачественную информацию и обеспечивает экспериментальную отработку ракет меньшим числом образцов, с лучшим качеством и в более сжатые сроки.

На первых ракетах и космических аппаратах число точек контроля измерялось десятками, на космических аппаратах типа “Союз”, “Салют” и их ракетах-носителях — тысячами, а на космическом аппарате “Буран” и его носителе “Энергия” количество точек контроля насчитывает уже десятки тысяч, из которых примерно 80 % являются специальными.

Специфика датчиков для РКТ заключается в одновременном воздействии большого количества дестабилизирующих факторов (рис. 1). Уровни их воздействия и состав не имеют аналогов в других отраслях промышленности. В общем случае датчики для РКТ отличаются от общепромышленных наличием целого ряда особых повышенных требований по условиям эксплуатации, метрологическим характеристикам, надежности, конструктивному исполнению и др. На рис. 1 показаны уровни воздействия температур и вибраций на изделия РКТ в сравнении с авиационной,

морской техникой и наземными образцами вооружения и военной техники. Примерно такое же соотношение характерно и для остальных дестабилизирующих факторов (давление, акустические шумы, термоудары и др.).

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ДАТЧИКОПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Сложность задач, решаемых проектировщиками для обеспечения работоспособности датчиков при совместном воздействии всех факторов, ярко характеризуют технические требования, заложенные еще в СССР при разработке комплекса “Энергия-Буран”:

- диапазон воздействия температуры от +700 до -253 °C;
- термоудары до 5000 град/с;
- вибрация до 2500 g с частотой от 5 до 5000 Гц;
- ударные нагрузки до 700 g длительностью (0,5...5) мс;
- акустический шум до 170 дБ;
- надежность от 0,99 до 0,999 при обеспечении механической надежности до 0,99999.

Кроме того, необходимо было учесть мероприятия по пожаровзрывобезопасности в среде “кислород-водород”, помехоустойчивость и элек-

ромагнитную совместимость, большой диапазон измерений (например, для давления — от единиц мм рт. ст. до тысяч МПа), многократность применения (до 100 раз) и ряд других факторов. При всех указанных условиях датчик является средством измерения с гарантированными точностными характеристиками на протяжении всего срока эксплуатации.

Опыт, накопленный при разработке жидкостных ракетных двигателей в 30—40-х годах прошлого века, позволил выработать требования к контрольно-измерительным параметрам этих двигателей, в том числе и к датчиковой аппаратуре. Первая половина 1960-х годов была периодом расширения работ по ракетной технике. Организациями космического приборостроения разрабатывались и создавались датчики пути, чисел оборотов, относительных координат, давления, пульсации давлений, усилий, расхода, температуры, акустические и другие датчики.

Одним из основных проблемных вопросов развития датчиков в то время у нас в стране и за рубежом было увеличение точности. Погрешность измерений достигала, например у датчиков давления $\pm 5\%$, у датчиков вибраций — $\pm 30\%$. Для повышения точности и стабильности разрабатывались более совершенные конструкции и материалы. Требования к материалам заключались в увеличении прочности, стабильности по времени и температуре. Много внимания уделялось снижению габаритов и веса. Для датчиков, работающих в условиях высоких температур, большое значение отводилось вопросам термостойкости. Повышение термостойкости достигалось за счет применения термокомпенсации, использования теплостойких материалов как для механических, так и для электрических частей датчиков.

Вторая половина 1960-х годов для отечественной космонавтики была периодом одновременно успехов и неудач. Создание новых космических объектов, ракет-носителей, стартовых сооружений и испытательных стендов требовало новых, более совершенных измерительных средств. Непрерывно возрастало количество измеряемых величин, ужесточались требования по точности и работоспособности в условиях высоких вибраций и криогенных температур. В ракетной технике в это время наиболее востребованными оказались датчики абсолютного давления, датчики давления жидких и газообразных, агрессивных и неагрес-

сивных сред, датчики перегрузок, датчики вибраций, датчики скорости вращения, датчики температуры и др.

В начале 1970-х годов начинается активное внедрение микроэлектроники в датчиковую аппаратуру. Создаются малогабаритные датчики давления высокой точности, прецизионные, малоинерционные датчики температуры и др. Одновременно ведутся разработки полупроводниковых датчиков.

Использование микроэлектроники позволило во многих случаях обеспечить оптимальную совокупность противоречивых требований, предъявляемых к датчикам для РКТ: долговременную стабильность, высокую надежность, большой срок службы, жесткие условия эксплуатации, высокую точность и чувствительность к измеряемому параметру и другим влияющим факторам, малые габариты, массу и энергопотребление, информационную, конструктивную и технологическую совместимость со средствами обработки информации, низкую трудоемкость и малую стоимость изготовления в мелкосерийном производстве. В дальнейшем развитие микроэлектроники привело к появлению новых перспективных направлений, таких как микромеханика.

Развитие работ по новым космическим комплексам в середине 1960—1970-х годов потребовало разработки новой датчиковой аппаратуры для измерения физических величин, которые ранее не измерялись или измерялись с невысокой точностью. Разрабатывались акселерометры с использованием микроэлектроники не только в электронной схеме, но и в конструкции чувствительного элемента. Большой прогресс был достигнут в разработке магнитометров. Особенность новых магнитометров состояла в том, что они, будучи использованы в качестве координирующего прибора, могли обеспечивать измерение угловых скоростей.

Созданный в 1970—1980-х годах научно-технический задел позволил определить следующие основные направления развития датчиков:

- расширение функциональных возможностей;
- агрегатный принцип построения;
- постоянное повышение технического уровня;
- сближение по метрологическим характеристикам (МХ) аппаратуры лабораторных, стендовых и летных испытаний;

— увеличение быстродействия, вызванное работой в составе автономных систем, функционирующих в реальном масштабе времени;

— надежность и сопряжение с электронными вычислительными машинами (ЭВМ), в том числе с бортовыми.

Кроме того, необходимо было решать и новые задачи:

— создавать новые датчики для измерений в области больших и сверхмалых значений физической величины;

— повышать точность измерений по всем величинам в экстремальных условиях (температура от -253 до $+600$ °C) при вибрации 2000 g ;

— увеличивать ресурс работы.

Актуальными оставались вопросы уменьшения массогабаритных характеристик, энергопотребления в 3—5 раз, повышения надежности на порядок, а также точности в 4—8 раз. Все задачи, поставленные на тот период времени разработчиками и производителями датчиков для РКТ, были успешно решены, о чем свидетельствовали успешные запуски комплекса “Энергия-Буран”, “Зенит”, эксплуатация орбитальной станции “Мир” и др.

На рис. 2 представлены типы и примерное количество датчиков, применяемых на ракетах-носителях, стартовых комплексах и при стендовой отработке изделий РКТ. Не меньшее количество датчиков используется и на других объектах РКТ (орбитальных комплексах, межпланетных станциях, исследовательских спутниках и др.).

За прошедшие 50—60 лет создано несколько поколений датчиков физических величин для контроля и измерения таких параметров, как давление, деформация, сила, перемещение, линейные и угловые ускорения, число оборотов и других, которые нашли широкое применение в особо сложных изделиях РКТ, работающих в экстремальных условиях эксплуатации.

Быстрые темпы развития космической техники резко расширяют границы технических требований к датчиковой аппаратуре [1]. Большое разнообразие создаваемых датчиков, их широкий амплитудный и частотный диапазоны (до 10 порядков), высокие требования к метрологическим характеристикам и надежности в условиях жесткого воздействия широкого спектра различных дестабилизирующих факторов потребовали нетрадиционных подходов к выбору конструктивно-

технологических решений. Главное внимание при этом было уделено созданию датчиков на базе микроэлектронной технологии. Это привело к тому, что традиционные принципы преобразования (тензорезисторный, пьезорезистивный, пьезоэлектрический, емкостный, индуктивный, вихре-токовый и др.) получили дальнейшее развитие вплоть до радикального улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик, особенно в части уменьшения габаритных размеров и массы. Кроме того, эти принципы остаются наиболее универсальными.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДАТЧИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ РКТ

Измерения электрических и неэлектрических величин базируются на использовании различных физических законов и явлений. Известно около 400 физических явлений, которые могут быть положены в основу создания средств измерений [2]. Наиболее широко на практике используются около 30 явлений и принципов действия датчиков.

Номенклатура типов датчиков, представляющих интерес для РКТ, значительна и включает датчики электрических, электромагнитных, магнитных величин, датчики давлений, в том числе быстропеременных в жидкой и газовой средах, датчики уровня, расхода, датчики параметров движения (ускорение линейное и угловое, перемещение и скорость перемещения угловая и линейная), датчики гравитации, химические, биологические и ядерные датчики, датчики температуры, влажности и многие другие.

По мере дальнейшего развития РКТ росли требования к эффективности контроля и диагностирования технического состояния используемых измерительных средств, от которых все в большей степени зависит эффективность самой РКТ. Необходимость поддержания высокой надежности и безаварийности сложной РКТ вынуждает разработчиков увеличивать число контролируемых параметров и, как следствие, применять множество разнообразных датчиков физических величин.

Одновременно актуальным становится совершенствование метрологического обеспечения РКТ, основная задача которого — достижение необходимой точности, достоверности и своевременности измерения параметров. Здесь следует заметить, что в настоящее время основная пог-

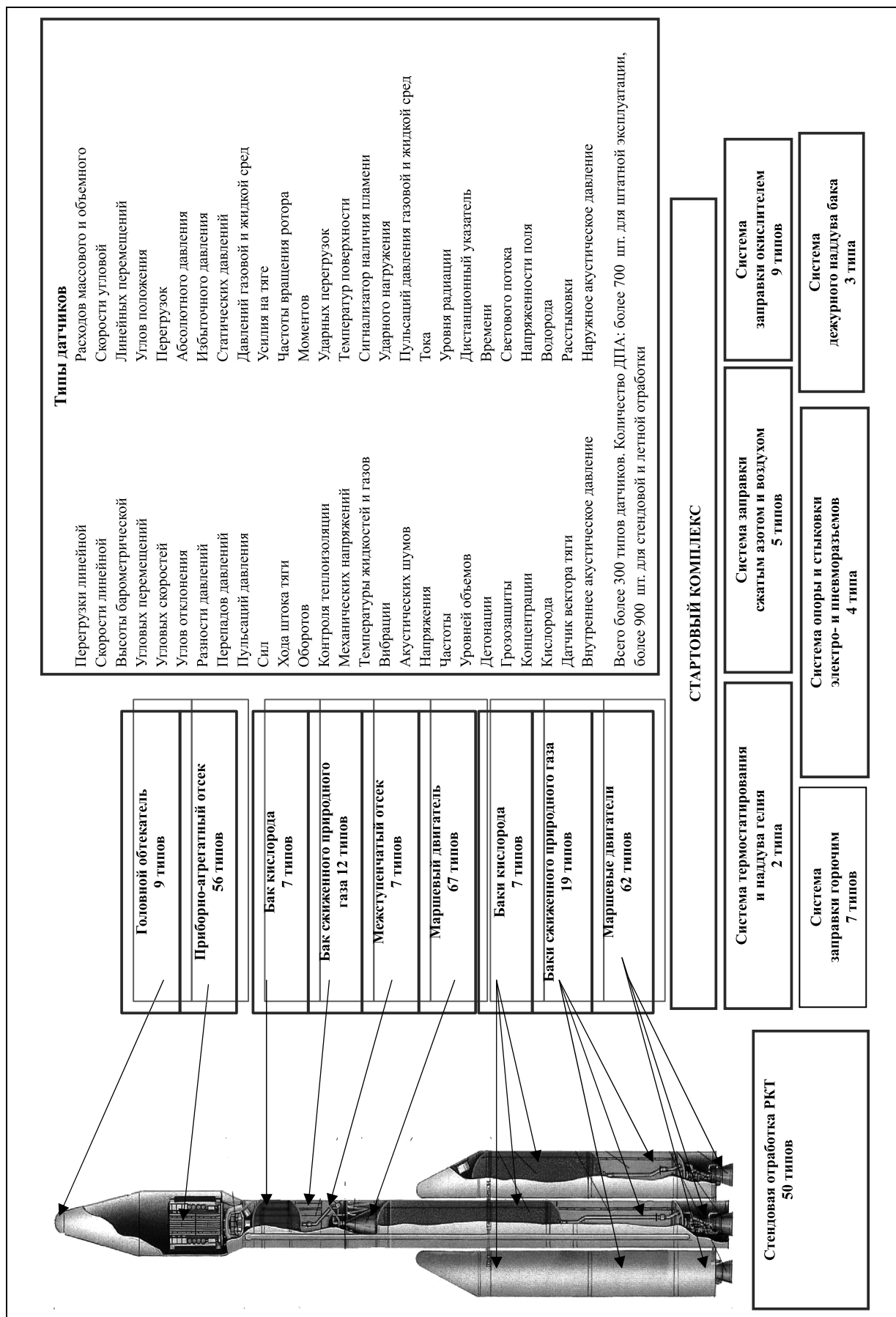


Рис. 2. Типы датчиков, используемых в системах и комплексах РКТ

решность средств контроля и диагностирования по любому параметру РКТ определяется погрешностью работы датчика, так как современные средства передачи и обработки информации имеют существенно более высокую точность, чем датчики.

Особенно перспективными по метрологическим и эксплуатационным характеристикам являются датчики, создаваемые на базе микросистемных (МСТ) устройств. Это направление сформировалось в период 1970—1980-х годов и развивается на базе достижений нанотехнологии, оптоэлектроники, микромеханики, биотехнологии и других современных критических технологий.

Выделяют следующие стимулирующие факторы развития МСТ-устройств:

- использование кремния в качестве конструкционного материала;
- разработка промышленных технологий жидкостного объемного травления кремния для формирования мембран, струн, балок, и других упругих чувствительных элементов;
- разработка технологий формирования объемных структур с использованием синхронного излучения, гальванического осаждения и прецизионного литья полимерами.

Отличительными особенностями МСТ-приборов являются:

- активное использование третьего измерения;
- интеграция электрических и оптических связей с механическими;
- интеграция физико-химических и технологических базисов микро- и биотехнологии;
- интеграция исполнительно-технологических и контрольно-диагностических процедур в микрообъемах и на поверхности твердого тела.

МСТ-приборы характеризуются новизной, наукоемкостью, конкурентоспособностью, потенциальной инвестируемостью на этапе разработки, тиражируемостью, низкой материало- и энергоемкостью, широким рынком потребления.

На основе критических технологий могут быть радикально улучшены датчики физических величин традиционных принципов действия (индуктивные, емкостные, пьезорезистивные) [3]. Большие достижения ожидаются и уже реализуются в датчиках на основе новых физических явлений (волоконно-оптическом, туннельном эффектах,

эффектах Виганда, Матусси) [4], явлений в тонких полупроводниковых, пьезоэлектрических, диэлектрических и сегнетоэлектрических пленках. Исключительная миниатюрность отдельных чувствительных элементов датчиков, создаваемых на основе МСТ-технологий, позволяет интегрировать их в многофункциональные модули, рассредоточивать в виде нейросети и органически как бы “вписывать” их по всему профилю или объему изделия, узла или детали. Наибольшая результативность (эффект) ожидается от МСТ-устройств, встраиваемых в системы автоматического контроля различных видов РКТ.

Анализируя тенденции совершенствования систем телеизмерений, контроля, диагностики и управления для обеспечения повышения тактико-технических характеристик РКТ [5—8], можно отметить следующее.

- Возможности выполнения задач РКТ в значительной степени зависят от эффективности использования датчиков. В будущем эта зависимость увеличится в связи с возрастанием потребности в получении больших объемов высококачественной информации и развитием технологии датчиков в направлении повышения их функциональных возможностей и повышения надежности изделий РКТ в целом.
- К важнейшим общим технологиям датчиков относятся технологии полупроводников, сверхпроводников, цифровые, компьютерные технологии и алгоритмы.
- Наиболее очевидной общей тенденцией в развитии технологии датчиков является все более возрастающая и доминирующая роль твердотельной технологии как в аналоговой, так и в цифровой электронике. Совершенствование датчиков будет следовать по тому же пути, что и твердотельная технология: миниатюризация, повышение быстродействия, снижение энергопотребления, повышение плотности и сложности монтажа приборов, реализация концепции интегральной сборки интегральных элементов и модулей и, естественно, снижение стоимости изделий.
- В течение нескольких последующих десятилетий станет возможным внедрение чувствительных элементов уровня микро- и даже наномасштаба в конструкции датчиков, компьютеров и исполнительных механизмов. К 2035 г. подобные устройства будут, вероятно, пред-

ставлять собой уже зрелую широко распространенную продукцию.

- По мере снижения габаритов элементов датчиков и вычислительных средств, а также энергопотребления и стоимости при одновременном наращивании их возможностей все более будут проявляться тенденции к объединению их в суперкомплексы распределенных взаимосвязанных элементов. В настоящее время уже имеют место случаи создания распределенных фазированных антенных решеток для радиолокационных систем и систем связи, мультипроцессорных архитектур суперкомпьютеров. В этой области открываются новые возможности для получения сигналов с большими объемами информации, увеличения производительности ЭВМ, повышения надежности и отказоустойчивости. В конечном итоге многофункциональные миниатюрные датчики будут компоноваться в одном корпусе с бортовыми встроенными вычислительными схемами, образуя минисистемы в одном корпусе.
- Характерной тенденцией в современной технологии систем датчиков является одновременное использование большого числа источников информации, в том числе с помощью пространственно рассредоточенного множества датчиков одного и того же типа, либо это могут быть системы одиночных датчиков, обеспечивающих восприятие и преобразование информации о множестве физических величин.
- Отмечается растущее стремление к внедрению многофункциональных конфигураций датчиков, т. е. датчиков, способных осуществлять несколько различных функций с использованием совместных аппаратных средств.
- Важнейшим направлением использования полупроводниковой технологии является технология микроэлектромеханических систем (МЭМС), являющаяся логическим продолжением развития микроэлектроники. Она сочетает в себе преимущества по надежности, миниатюризации, многокомпонентности и высокой степени интеграции. Вследствие гибкости, присущей интеграции электрических и механических компонентов, потенциальные возможности применения МЭМС-технологии представляются безграничными.
- Технология сверхпроводников обладает огромным потенциалом в области производства как СВЧ-устройств со сверхнизкими потерями и высокой добротностью, так и сверхбыстродействующих сверхмаломощных цифровых схем, которые можно будет использовать для создания перспективных датчиков ближайшего будущего на основе усовершенствования технологии высокотемпературных сверхпроводников HTS (High Temperature Superconductor).
- Развитие технологии цифровых устройств является единственным наиболее важным фактором, который окажет влияние на технологии датчиков в обозримом будущем. Преимущества цифровой, а не аналоговой формы сигналов или информации многочисленны. Движение к полностью цифровому миру приобрело за последние несколько десятилетий неотвратимый характер.
- Прогнозируется появление новых устройств на основе квантовой физики и наноэлектроники прежде, чем будет решена проблема, связанная с достижением предельных атомных размеров, что дает возможность появления новых типов чувствительных элементов, основанных на новых физических принципах квантовой физики. Уже нашло свое воплощение на практике использование квантовых резонансов в одном измерении в транзисторах с высокой подвижностью и полупроводниковых лазерах с одной или несколькими потенциальными ямами.
- Экспоненциальный рост вычислительных возможностей будет продолжаться в течение ряда десятилетий рассматриваемого периода, обеспечиваемый достижениями в областях технологии микросхем, архитектуры ЭВМ и программного обеспечения. По мере развития систем в направлении распределенных сетей мультипроцессоров будет обостряться проблема надежности, что потребует выстраивать механизмы реализации надежности и отказоустойчивости таким образом, чтобы отказ одного компонента не мог бы вывести из строя всю сеть в целом или же полностью обесценить требуемые выходные данные.
- Совершенствование всего многообразия современных датчиков и особенно датчиков нового поколения базируется на использовании

новых специальных конструкционных, функциональных и интеллектуальных материалов, таких как сплавы с малым ТКМУ, керамические материалы, композиты, в том числе с наноструктурами, кремний, кварц, пьезокерамика, пьезопленки и многие другие.

- Основные тенденции развития технологии датчиков будут характеризоваться следующим:
 - постепенным снижением габаритов и стоимости датчиков по мере внедрения нанотехнологии в пределах ограничений, обусловленных физическими свойствами интерфейса со средой;
 - перемещением аналого-цифрового преобразования на входные каскады датчика, с сохранением лишь тех аналоговых элементов, которые абсолютно необходимы для сопряжения с преобразуемым физическим явлением;
 - постоянно возрастающими масштабами компьютерной обработки по мере увеличения производительности ЭВМ;
 - распространением монолитных “интеллектуальных” датчиков [9, 10], в которых сочетаются на одном кристалле интегральной схемы преобразование физической величины в электрическую, АЦП, цифровая обработка сигналов, входные и выходные устройства связи; появление новых и более эффективных датчиков позволит развертывать совокупности автономных мобильных взаимосвязанных датчиков, которые смогут совместно функционировать как единый многофункциональный датчик;
 - обеспечением широкой унификации и стандартизации датчиков по посадочным размерам, выходным сигналам, схемам внешних соединений, что позволит в последующем с малыми затратами перейти на новые датчики [11].
- Развитие технологии датчиков будет неизбежно сопровождаться рядом проблем. Среди них следующие:
 - переход от микроэлектроники к нанoeлектронике или к сверхпроводящей RSFQ-логике сопровождается существенным снижением рабочих напряжений и, следовательно, увеличивает уязвимость датчиков от электромагнитных помех и особенно от ЭМИ;

- по мере увеличения числа датчиков, связанных линиями связи, возрастает угроза перегрузки данными;
- все возрастающие тенденции к созданию комплексов миниатюрных интеллектуальных датчиков для РКТ, обладающих различной степенью автономности, могут обусловить вероятность собственного поражения;
- по мере развития мобильных автономных интеллектуальных датчиков и работающих совместно многофункциональных интегрированных датчиков все большее значение будет приобретать проблема надежности связи;
- развитие информационных сетей распределенных датчиков приведет к возрастанию уязвимости их от преднамеренных воздействий средствами информационной войны.

ВЫВОДЫ

Роль датчиков является определяющей в любой измерительной системе. От их характеристик все в большей мере зависит надежность и эффективность различных видов РКТ. Технический облик датчиков в значительной степени влияет на технический уровень самих средств контроля и диагностирования РКТ, на степень их унификации. В частности, создание датчиков с цифровым выходом в корне может изменить облик этих средств. Поэтому развитие и совершенствование парка современных датчиков можно выделить как одно из важнейших направлений повышения эффективности РКТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды всероссийской научно-технической конференции “Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий” / Под ред. Ю. М. Урличича, А. А. Романов. — М.: Физматлит, 2009. — 376 с. [Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference “Actual Problems of Rocket and Space Instrument Making and Information Technologies” / Ed. by Yu. M. Urlichich, A. A. Romanov. — Moscow: Fizmatlit, 2009. — 376 p. (In Russian)]
2. Блинов А., Гамкрелидзе С., Критенко М. и др. Датчики нового поколения для вооружений и военной техники // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. — 2003. — № 2. — С. 50—53. [Blinov A., Gamkrelidze S., Kritenko M., et al. New generation sensors for weapons and military equipment // Electronics: Science, Technology, Business. — 2003. — N 2. — P. 50—53. (In Russian)]
3. Трофимов А. А., Трофимов А. Н. Взаимоиндуктивные датчики перемещений. Монография. — Пенза: ПГУ, 2009. — 174 с. [Trofimov A. A., Trofimov A. N. Mutual inductive dis-

- placement sensors. Monograph. — Penza: PSU, 2009. — 174 p. (In Russian)]
4. *Дмитриенко А. Г., Блинов А. В., Трофимов А. Н., Трофимов А. А.* Построение датчиков частоты вращения на основе “модуля Виганда” // Датчики и системы. — 2012. — № 4. — С. 62–64. [Dmitrienko A. G., Blinov A. V., Trofimov A. N., Trofimov A. A. Rotation frequency sensors based on Wiegand modules // Sensors and Systems. — 2012. — N 4. — P. 62–64. (In Russian)]
 5. *Дмитриенко А. Г., Блинов А. В., Трофимов А. Н., Трофимов А. А.* Тенденции развития датчиков, преобразователей и на их основе систем измерения, мониторинга и контроля технически сложных объектов ракетно-космической техники // Датчики и системы. — 2012. — № 9. — С. 4–6. [Dmitrienko A. G., Blinov A. V., Trofimov A. N., Trofimov A. A. Development trends for sensors, transducers and based on them measuring, monitoring and control systems for technically complex objects of rocket-and-space engineering // Sensors and Systems. — 2012. — N 9. — P. 4–6. (In Russian)]
 6. *Дмитриенко А. Г., Трофимов А. Н., Трофимов А. А.* Вопросы разработки унифицированных конструкций датчиков для перспективных систем измерения и контроля специальной техники // Измерительная техника. — 2010. — № 10. — С. 18–21. [Dmitrienko A. G., Trofimov A. N., Trofimov A. A. Issues of developing unified sensor designs for advanced measurement systems and control of special equipment // Measuring Technique. — 2010. — N 10. — P. 18–21. (In Russian)]
 7. *Трофимов А. А., Бастрыгин К. И.* Система измерения, мониторинга, контроля и диагностики параметров ракетного двигателя // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2017. — № 3. — С. 17–25. [Trofimov A. A., Bastyrygin K. I. System of measurement, monitoring, control and diagnostics of rocket engine parameters // Measurements. Monitoring. Management. Control. — 2017. — N 3. — P. 17–25. (In Russian)]
 8. *Дмитриенко А. Г.* Датчики физических величин — основа интеллектуальных систем мониторинга и контроля технологически сложных объектов // Российский космос. — 2012. — № 4. [Dmitrienko A. G. Sensors of physical quantities — the basis of intelligent monitoring and control systems for technologically complex objects // Russian Space. — 2012. — N 4. (In Russian)]
 9. *Дмитриенко А. Г., Блинов А. В., Новиков В. Н.* Распределенная интеллектуальная система мониторинга состояния сложных технических объектов // Измерительная техника. — 2011. — № 3. — С. 13–15. [Dmitrienko A. G., Blinov A. V., Novikov V. N. Distributed intellectual system for monitoring the state of complex technical objects // Measuring Technique. — 2011. — N 3. — P. 13–15. (In Russian)]
 10. *Новоселов А. С., Буренок В. М., Блинов А. В., Трофимов А. А.* Основные тенденции развития датчиков и создание на их основе систем измерения для объектов специальной техники // XXII Всероссийская научно-практическая конференция “Актуальные проблемы защиты и безопасности”, Санкт-Петербург, 2019. — Том 1. — С. 153–157. [Novoselov A. S., Burenok V. M., Blinov A. V., Trofimov A. A. The main trends in the development of sensors and the creation on their basis of measurement systems for objects of special equipment // XXII All-Russian Scientific-Practical Conference “Actual Problems of Protection and Security”, St. Petersburg, 2019. — Vol. 1. — P. 153–157. (In Russian)]
 11. *Дмитриенко А. Г., Трофимов А. Н., Трофимов А. А.* Вопросы разработки унифицированных конструкций датчиков для перспективных систем измерения и контроля специальной техники // Измерительная техника. — 2010. — № 10. — С. 18–21. [Dmitrienko A. G., Trofimov A. N., Trofimov A. A. Issues of developing unified sensor designs for advanced measurement systems and control of special equipment // Measuring Technique. — 2010. — N 10. — P. 18–21. (In Russian)]

Поступила в редакцию 26.06.2019

После доработки 26.06.2019

Принята к публикации 02.08.2019



Вниманию авторов!

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Статья высылается по e-mail в электронной форме или по почте в одном экземпляре на бумаге (в данном случае обязательно должен быть приложен CD с текстом, идентичным напечатанному тексту).

Наличие аннотации и ключевых слов к статье обязательно.

Обязательно наличие названия статьи, аннотации, ключевых слов на английском языке.

Статья должна быть структурирована, т. е. иметь введение, основную часть с необходимыми разделами, выводы.

Все буквенные обозначения, приведенные в формулах и на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисунковом текстах (недопустимы повторные обозначения в подрисунковых подписях и в тексте). Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении. Не следует перегружать статью математическими выкладками, не необходимыми для понимания статьи.

Список использованной литературы (только органически связанной со статьей) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи на русском и английском языках. В тексте ссылки на литературу отмечаются порядковыми номерами в квадратных скобках.

В конце статьи следует обязательно указать полностью на русском и английском языках имя, отчество и фамилию авторов, ученые степени и звания, должность, место работы, контактный телефон, электронные адреса.

Объем статьи, исключая обзорные, не должен превышать 10 страниц текста. Текст печатается через 1,5 интервала с одной стороны бумаги формата А4, страницы нумеруются.

Требования к статье в электронной форме:

- редактор не ниже Word 97;
- печатная полоса 16,5 × 25 см;
- шрифт Times New Roman, 12 пт;
- текст не должен иметь колонок, разделов и т. д.

Рисунки должны иметь формат, совместимый с операционной системой Windows (Рисунок Microsoft Word, редакторы CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.).

Растровые изображения должны быть предельно четкими с разрешением не менее 300 dpi.