

ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО
ФГУП «НПО «ТЕХНОМАШ», ОАО «ИПК МАШПРИБОР»,

ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**СБОРНИК ТРУДОВ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Королёв, Московская обл.

18-22 ноября 2013 г.

*Под научной редакцией академика Российской академии космонавтики
им. К.Э. Циолковского, кандидата юридических наук,
профессора Академии военных наук РФ Д.В. Панова*

Москва
Российский университет дружбы народов
ФГУП «НПО «ТЕХНОМАШ»
2014

УДК 629.78:004(063)
ББК 39.66
И74

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Ю.Г. Шатраков*,
доктор технических наук, профессор *А.Е. Панич*

Под научной редакцией академика Российской академии космонавтики
им. К.Э.Циолковского, кандидата юридических наук,
профессора Академии военных наук РФ *Д.В. Панова*

И74 Информационно-измерительная техника : сборник трудов научно-технической конференции / под ред. Д.В. Панова. – Москва : РУДН, 2014. – 324 с. : ил.

ISBN 978-5-209-06245-5

В сборнике представлены научно-технические, технологические и организационно-практические работы в области телеметрических информационно-измерительных средств, применяемых для решения различного класса задач с целью измерения, контроля, диагностики и управления различного вида информации в рамках ракетно-космической техники и другой техники. Основные доклады были представлены ведущими специалистами и учеными ракетно-космической отрасли и других отраслей по вопросам информационно-измерительной техники, приборным технологиям, конструктивного проектирования, наукоёмкого приборостроения, пьезоэлектрической элементной базы, новым материалам, технологиям и т.д., обеспечивающим качество и надежность телеметрической техники и различных изделий РКТ.

Отдельные материалы, доложенные на конференции, были опубликованы ранее в различных номерах журнала и сборниках трудов других ведомств. Сборник трудов конференции подготовлен к публикации кафедрой ОАО «ИПК Машприбор» «Прикладная космонавтика и информационно-измерительная техника» (руководитель кафедры академик, кандидат технических наук, профессор С.А. Пономарев).

УДК 629.78:004(063)
ББК 39.66

ISBN 978-5-209-06245-5

© Коллектив авторов. Отв. ред. Д.В.Панов, 2014
© Российский университет дружбы народов,
Издательство, 2014
© ФГУП «НПО «Техномаш», 2014

Редакционная коллегия:

<i>Д.В. Панов</i>	главный редактор, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, кандидат юридических наук, профессор
<i>А.В. Гориш</i>	заместитель главного редактора, академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктор технических наук, профессор
<i>Г.А. Дмитриенко</i>	доктор технических наук, кандидат экономических наук, профессор
<i>В.П. Дунаевский</i>	доктор технических наук
<i>Ю.Н. Макаров</i>	академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктор экономических наук, профессор
<i>Т.И. Мурашкина</i>	доктор технических наук, профессор
<i>В.Н. Масленников</i>	кандидат технических наук, доцент
<i>С.А. Пономарев</i>	академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, кандидат технических наук, профессор
<i>В.А. Победоносцев</i>	академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктор технических наук, профессор
<i>А.Г. Пивкин</i>	кандидат технических наук, доцент
<i>Н.М. Пушкин</i>	академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктор технических наук, профессор
<i>А.Е. Панич</i>	академик инженерной академии, доктор технических наук, профессор
<i>В.А. Рязанов</i>	кандидат военных наук, доцент
<i>И.С. Рубцов</i>	технический редактор

ПРЕДИСЛОВИЕ

По плану Роскосмоса проводилась научно-техническая конференция «Информационно-измерительная техника», цель которой состояла в том, чтобы ученые и ведущие специалисты могли обменяться техническими, технологическими и метрологическими достижениями в ракетно-космической отрасли (РКО), а также оценить состояние дел в этой области на предприятиях Роскосмоса.

Следует особо отметить, что ракетно-космической отраслью руководили выдающиеся организаторы (РКО) (Афанасьев С.А., Бакланов О.Д., Догужиев В.Х., Шишкин О.Н., Коптев Ю.Н.), которые обеспечили создание информационно-измерительной техники (ИИТ): датчиковая аппаратура, преобразовательные приборы, наземная и бортовая аппаратура, средства сбора и обработки измерительной информации, программно-математические продукты и другие информационно-технологические составляющие. ИИТ играла ведущую роль в процессах создания и эксплуатации различных изделий ракетно-космической техники.

ИИТ была создана на высоком научно-техническом уровне и не уступала по основным техническим характеристикам лучшим зарубежным образцам США, Германии, Франции, Японии и др.

В стране была установлена жесткая система, которая предусматривала применение телеметрических информационно-измерительных средств для отработки всех изделий РКО:

- для ракетных комплексов на всех этапах – система БРС-4 и ее модификации;
- для космических аппаратов – система РТС-9 и ее модификации.

Были созданы новые заводы по производству и серийным поставкам телеметрических систем БРС-4 и РТС-9 в требуемых объемах и количествах с учетом оснащения полигонных измерительных комплексов. Генеральные директора РКО имели заместителей по измерительной технике: РКК «Энергия им. С.П. Королева – Шабаров Е.П., КБ «Южное» – Грачев В.В., КБ Миасс – Боксар Ш.И., ЦКБМ – Виттер В.В. и др. КБ Минобщемаша имели также заместителей генеральных директоров по измерительной технике.

Проводились значительные научно-теоретические, конструкторско-технологические исследования и разработки в области различных образцов и направлений телеметрической информационно-измерительной техники. К работам были привлечены ВУЗы многих городов СССР (более 20), которые одновременно подготавливали будущих молодых специалистов в этой области для ракетно-космической отрасли. К сожалению, в настоящее время вся эта система разрушена и не функционирует. Конференция наглядно показала, что уровень специалистов в области ИИТ резко снизился.

Современное общество немислимо без ИИТ. Только при создании и реализации современных телеметрических информационно-измерительных средств будет достигнут высокий научно-технический уровень РКО. В научно-производственной деятельности предприятий РКО ИИТ позволяют выполнять измерения, контроль и диагностику всех производственно-технологических и научно-технических процессов и существенно повышать надежность изделий РКТ.

Министры Минобщемаша СССР (С.А. Афанасьев, О.Д. Бакланов, В.Х. Догужиев, О.Н. Шишкин и Ю.Н. Коптев) и первый Генеральный директор Российского Федерального агентства создали отрасль «Ракетно-космическая техника», а вместе с ней и телеметрическую информационно-измерительную технику, одновременно обеспечив создание ракетно-ядерного щита нашего государства.

ВВЕДЕНИЕ

Радиотелеметрические информационно-измерительные средства (РТИИС) для измерения, контроля, диагностики и управления физическими параметрами являются единственным определяющим органом управления процессами проектирования, создания, испытания и эксплуатации важнейших образцов ракет-носителей, межконтинентальных ракет, ракет средней дальности, а также космических аппаратов специального назначения.

В настоящее время на предприятиях разработчиков и на заводах-изготовителях РТИИС разработанная ранее производственно-технологическая и другая документация практически утрачена. Частично вместе с НИИ, КБ и заводами Минобщемаши СССР документация оказалась за пределами РФ (Украина, Беларусь). Оставшиеся отдельные единичные технологические, производственно-технологические и методические схемно-конструкторские документации РТИИС устарели и мало применимы для практической реализации. Зарубежные фирмы опережают наших отечественных разработчиков как в части технологии проектирования, так и в производстве микроэлектронных компонентов.

С момента создания НИИ-88 (ЦНИИмаш) ни одна из баллистических ракет в нашей стране не проходила этапы летных испытаний без применения РТИИС, а при каждом пуске на каждой ракете и космических аппаратах устанавливается штатно.

Интерес мировой общественности к советской, а затем и российской ракетно-космической технике общеизвестен и

поняты. По сей день вызывает профессиональную зависть и восхищение у зарубежных партнеров многоплановость и нестандартность конструкторских решений отдельных узлов и агрегатов отечественных ракет – носителей (РН), стартовых комплексов, средств управления космическими аппаратами (КА), радиотехнических систем взаимных измерений при поиске, сближении и стыковке КА, радиолокационных систем авиационного и космического базирования, радиотехнических комплексов средств связи спутниковых систем и для поисково-спасательных служб, радиотелеметрических информационно-измерительных средств для измерения, контроля, диагностики и управления физическими параметрами РН и КА, средствами управления орбитальной группировкой и др. достижениями в ракетно-космической технике (РКТ) и космонавтике.

Поражает диапазон мощностей ракетных двигателей, скоротечность предстартовых операций, уникальность информационно-измерительной и стендово-испытательной базы, перечень новейших материалов и технологий.

Но за всем этим стояли такие гениальные личности, как Афанасьев С.А., Бакланов О.Д., Догужиев В.Х., Шишкин О.Н. и Коптев Ю.Н. и не вошедшие в историю труженики, группы единомышленников и огромные коллективы (творческие, производственные, эксплуатационные), которыми они управляли.

АФАНАСЬЕВ Сергей Александрович
первый ракетно-космический министр с 1965 по 1983 г.



Родился в семье служащего 30 августа 1918 г. в г. Клин Московской области.

Русский. Член Коммунистической партии с 1943 г.

В 1941 г. с отличием окончил Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана по специальности «Инженер-механик».

Будучи в 1936–1941 гг. студентом Московского высшего технического училища, одновременно с 1938 г. работал старшим наладчиком станков-автоматов на автомобильном заводе им. И.В. Сталина в Москве.

С 30 июня по 17 октября 1941 г. работал инженером-конструктором завода № 8 Наркомата вооружения СССР в г. Калининграде Московской области.

Продолжил трудовую деятельность на заводе № 172 Наркомата вооружения СССР в г. Пермь: с 17 октября 1941 г. по 6 марта 1942 г. – инженер-конструктор по оснастке, с 6 марта 1942 г. по 1 октября 1943 г. – старший инженер-конструктор, с 1 октября 1943 г. по 9 декабря 1944 г. – начальник технического отдела, с 9 декабря 1944 г. по 9 марта 1946 г. – заместитель начальника цеха, с 9 марта по 14 сентября 1946 г. – заместитель главного механика завода.

С 1946 г. приступил к работе в аппарате Технического управления Министерства вооружения СССР: с 14 сентября 1946 г. – старший инженер; с июня 1948 г. по 2 сентября 1950 г. – начальник отдела; с 2 сентября 1950 г. по 2 октября 1955 г. – заместитель начальника Технического управления Министерства вооружения СССР (в апреле 1953 г. Министерство вооружения СССР преобразовано в Министерство оборонной промышленности СССР). С 2 сентября 1955 г. по апрель 1957 г. начальник Технического управления Министерства оборонной промышленности СССР.

С июня 1957 г. – заместитель, с апреля 1958 г. – первый заместитель председателя совнархоза Ленинградского экономического административного района по оборонной промышленности. С сентября 1958 г. – председатель совнархоза Ленинградского экономического административного района.

С июня 1961 г. работал в должности заместителя Председателя Совета Министров РСФСР – председателя Всероссийского Совета народного хозяйства. С марта 1965 г. – министр общего машиностроения СССР. С 8 апреля 1983 г. – министр тяжелого и транспортного машиностроения СССР.

С июля 1987 г. – персональный пенсионер союзного значения.

С марта 1988 г. по май 1992 г. – консультант при группе генеральных инспекторов Министерства обороны СССР.

С июля 1992 г. по 13 мая 2001 г. – главный научный консультант при генеральном конструкторе Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С. П. Королева.

Депутат Верховного Совета РСФСР 5-6-го созывов (с 1 марта 1959 г.), Верховного Совета СССР 6-11 созывов (с 18 марта 1962 г.).

Член ЦК КПСС с ноября 1961 г. по 1989 г.

Дважды Герой Социалистического Труда (1973, 1978).

Награжден семью орденами Ленина, орденом Октябрьской Революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом Красной Звезды.

Лауреат Ленинской премии (1973). Дважды лауреат Государственной премии СССР (1952, 1976).

Умер 13 мая 2001 г. Похоронен на Новодевичьем кладбище.

БАКЛАНОВ Олег Дмитриевич
министр общего машиностроения СССР
(1983–1988)



ДОГУЖИЕВ Виталий Хуссейнович
министр общего машиностроения СССР
(1988–1989)



ШИШКИН Олег Николаевич
министр общего машиностроения СССР
(1989–1991)



КОПТЕВ Юрий Николаевич
генеральный директор Российского
космического агентства (1992–1999).
Российского авиационно-космического
агентства (1999–2004)



УТКИН Иван Иванович

основоположник комплексного подхода при создании
телеизмерительных средств для РКТ,
организатор коллектива пятого комплекса НИИ-88 и НИИИТ



Иван Иванович Уткин родился 23 апреля 1910 г. в селе Кошеево Ивановской области в семье крестьянина-середняка. До 1922 г. учился в сельской школе, затем работал в хозяйстве отца. В 1925–1928 гг. работал строителем, лесорубом, а в 1928 году его послали учиться в Иваново на рабфак.

Из автобиографии И.И. Уткина от 07.02.1950 г.: «...4 брата, один осужден по Указу Президиума ВС от 3/IV-1947».

Последняя собственноручная запись, внесенная И.И. Уткиным в свое личное дело 21.06.1986 (!), когда он уже давно не работал на предприятии. С этой целью он специально приезжал в отдел кадров НПО ИТ. Как вспоминала

сотрудник отдела кадров Майорова Р.К., присутствовавшая при этом, видимо, мысль о судимости брата постоянно тревожила Ивана Ивановича, раз много лет спустя он решил внести в свое личное дело такую запись: «Брат Уткин Анатолий Иванович из заключения освобожден досрочно. Судимость снята. В настоящее время он инвалид II группы. Получает пенсию (как инвалид отечественной войны)».

После окончания рабфака в 1931 г. И.И. Уткин работал в Ивановской профшколе и в Ивановском обкоме комсомола. В 1932–1938 гг. он учился в Московском государственном университете на физическом факультете, который закончил с отличием, после чего поступил в аспирантуру МГУ, которую закончил весной 1941 г. и получил назначение на работу и.о. доцента в Воронежский госуниверситет. В связи с началом войны был направлен на работу на военный завод № 16, который был эвакуирован в г. Казань. На заводе № 16 Уткин работал до января 1944 г., после чего в течение 6 лет был на партийной работе (инструктором Татобкома, парторгом завода 233 МВ СССР, с марта 1947 г. – парторг ВКП(б) НИИ-88). Член Мытищинского ГК (тогда город Калининград входил в состав Мытищинского района). Депутат Горсовета. «Партвзысканий не имел, не судился, за границей не был». Эти сведения по биографии И.И. Уткина, в том числе сведения о его работе на «авиазаводе № 16» (завод п/я 735), взяты из его личного дела.

Из этой записи в личном деле следует, что в командировке в Германию вместе с Глушко и с Королевым Уткин И.И. не был. Путем сопоставления многочисленных открытых публикаций обнаруживается, что «авиазавод № 16» – это тот самый эвакуированный в 1941 г. из Воронежа авиазавод, где во время войны «работал» В.П. Глушко и куда из Омска был «переведен» С.П. Королев.

Вот извлечения только из двух публикаций.

Книга о Валентине Петровиче Глушко «Однажды и навсегда...» (М.: Машиностроение, 1998).

«В.П. Глушко был арестован 23 марта 1938 года... (с. 425).

«В 1940 году группа В.П. Глушко была переведена на Казанский авиационный моторостроительный завод № 16, где был организован спецотдел № 28, входивший в систему НКВД» (с. 427)». Здесь какая-то неясность. Если завод № 16 эвакуирован в Казань в 1941 г., то в 1940 г. к моменту прибытия В.П. Глушко в Казань завода с таким номером в Казани еще не было.

В 1942 г. на работу в КБ спецотдела № 28 завода № 16 был направлен С.П. Королев. Как известно, С.П. Королев, как и Глушко В.П., был по ложному обвинению арестован органами НКВД. Его арестовали в ночь с 27 на 28 июня 1938 г., а уже 27 сентября 1938 г. ему был вынесен приговор Военной коллегии верховного суда: десять лет лишения свободы по ст. 58-7 и 58-11. Затем была пересыльная тюрьма в Новочеркасске, Колыма, отмена приговора и пересмотр дела в Москве. В июне 1940 г. новый приговор: восемь лет ИТЛ. Как авиационный специалист Королев был направлен в особое техническое бюро ЦКБ-29 при НКВД и работал там под руководством А.Н. Туполева, вместе с которым в августе 1941 г. и с коллективом ЦКБ-29 был эвакуирован в Омск. Из Омска в январе 1942 г. С.П. Королева переводят в Казань в КБ спецотдела № 28 завода 16, где с декабря 1941 г. уже работал Глушко. Королев работал вначале ведущим инженером, а затем заместителем главного конструктора КБ (то есть заместителем Глушко В.П.) по летным испытаниям. Королев активно включился в работу по руководству разработками и испытаниями конструкций для установки двигателей-ускорителей, разрабатываемых в «спецотделе 28», на боевые самолеты.

Ярослав Голованов. «Королев, факты и мифы» (М.: Наука, 1994) (с. 318):

«Здание заводоуправления стояло на стыке двух территорий: авиазавода № 22 и моторного завода № 16, эвакуиро-

ванного из Воронежа. Группа Глушко находилась как бы при моторном заводе, но директору завода не подчинялась. У казанских «зеков» был свой «директор» – Василий Петрович Бекетов, «чекист с инженерным дипломом...»

Комната, где работал Королев, находилась на третьем этаже как раз над кабинетом Бекетова».

Таким образом, сопоставляя три документа, можно сделать вывод, что, работая на заводе № 16, а затем в промышленном отделе (Татарии), И.И. Уткин вполне мог быть знаком с В.П. Глушко с 1941 г. (с момента своего прибытия в Казань вместе с коллективом эвакуированного завода № 16), а с С.П. Королевым – с ноября 1942 г. Именно по этой причине и, очевидно, не без участия Д.Ф. Устинова, формировавшего состав руководящих кадров НИИ-88, в марте 1947 г. И.И. Уткин был назначен первым парторгом ЦК Государственного союзного научно-исследовательского института НИИ-88.

Сведения об участии Уткина в «немецкой экспедиции» вместе с Чертоком, Королевым, Глушко и другими в личном деле и в других источниках отсутствуют. Похоже, что в Германии Уткин не был, хотя первоначально автор и Комиссаров, рассматривая личное дело Уткина, предположили, что причиной назначения Уткина парторгом ЦК НИИ-88 было его участие в немецкой экспедиции.

В должности парторга ЦК И.И. Уткин проработал три года.

После вынужденного завершения своей партийной карьеры Уткин был назначен начальником отдела проверки измерительных приборов НИИ-88 – совершенно не престижная должность.

И, очевидно, что не без поддержки Королева С.П., с которым был давно знаком, Уткин был назначен начальником вновь сформированного коллектива отдела 20 НИИ-88 с новой тематикой «телеизмерительной» ракетной направленности.

Уткин пользовался также поддержкой М.К. Янгеля, с которым был хорошо знаком по работе в НИИ-88. На основе личной договоренности Уткина с Янгелем было принято решение о проведении летных испытаний совмещенной системы БРС-4 на «янгелевских» изделиях 8К64 и 8К99.

К этому следует добавить, что Омский а/я 7 (ныне ПО «Полет», входящий в состав ГКНПЦ им. М.В. Хруничева) – в 1970-х гг. изготовитель янгелевских ракет 8К64У, на одной из которых был проведен второй этап летных испытаний бортовой радиолнии и бортовой аппаратуры ИС-1162 совмещенной системы БРС-4.

Это и есть тот самый авиационный завод в г. Омске, куда с набережной р. Яузы в Москве в августе 1941 г. был эвакуирован коллектив московского ЦКБ-29 («шаражка») вместе с Туполевым и Королевым. В настоящее время на здании заводоуправления этого Омского завода (находящемся вне охраняемого «периметра») установлена мемориальная «доска Туполева». Мемориальная «доска Королева», возможно из соображений режима, в советские времена была установлена на территории завода на стене здания цеха, где Королев работал заместителем начальника цеха. Соображения «режимности», очевидно, состояли в том, что мемориальная «доска Туполева» на здании заводоуправления характеризовала завод а/я 7 как авиационный, а фактически (во время установки памятных досок) он уже производил ракеты 8К64 главного конструктора М.К. Янгеля.

Постановлением Совета министров СССР № 1017-419 от 13 мая 1946 г. был создан Специальный Комитет по реактивной технике при Совете Министров СССР, определены головные министерства по разработке и производству реактивного вооружения и определены первоочередные задачи.

Пункт 9а) раздела III этого Постановления гласил:

«В целях выполнения возложенных на министерства задач создать ...

в Министерстве вооружения...

Научно-исследовательский институт реактивного вооружения и Конструкторское бюро на базе завода № 88, сняв с него другие задания, с размещением этих заданий по другим заводам Министерства вооружения».

Постановление подписал Председатель Совета Министров СССР И. Сталин. 16 мая 1946 г. на основании указанного Постановления министра вооружения Д.Ф. Устинова был подписан приказ о создании НИИ-88. Директором НИИ-88 был назначен генерал-майор артиллерии Л.Р. Гонор (с 1938 г. и во время войны – директор завода «Баррикады», производящего артиллерийские орудия крупного калибра, Герой Социалистического Труда). Б.Е. Черток в своих воспоминаниях не говорит о встречах с И.И. Уткиным в Германии. Как упоминалось, согласно собственноручно написанной анкете, Уткин «за границей» не был. В октябре 1946 г. в институте «Нордхаузен» в Германии работало уже 733 советских специалиста.

Из личного дела Уткина, хранящегося в НПО ИТ, невозможно понять причины его назначения и последующего отстранения от должности парторга ЦК в НИИ-88, а также причину «неназначения» Уткина И.И. (16 лет спустя) директором созданного его многолетними усилиями НИИИТ. Ничего конкретного не известно о периоде жизни Уткина в Казани, о его инженерной работе на заводе № 16, о последующем «переходе» на работу в партийные органы.

Структура НИИ-88 в процессе работ изменялась. С.П. Королев был назначен главным конструктором баллистической ракеты приказом Д.Ф. Устинова 9 августа 1946 г. Структура НИИ-88 также устанавливалась приказами Устинова. **26 августа 1946 г.** в составе СКБ было юридически утверждено образование отдела 3 (начальник отдела С.П. Королев) в составе СКБ.

День **26 августа** (а не день выделения ОКБ-1 из состава НИИ-88) считается днем рождения РКК «Энергия».

17 декабря 1953 г. в связи с изменением структуры НИИ-88 из нескольких подразделений был организован отдел измерительной техники (отдел 20), начальником которого был назначен И.И. Уткин. Этим же приказом О.Д. Комиссаров и А.В. Милицин и некоторые другие сотрудники были переведены из инженеров отдела 5 НИИ-88 начальниками группы сектора С.А. Джанумова в отдел 20. Сектору Джанумова было поручено «курирование» работ по радиотелеметрии на смежных предприятиях и участие в испытаниях ракет с использованием этой телеметрии.

По аналогии дату **17 декабря 1953 г.** должны были бы чтить и отмечать в НПО ИТ как день рождения предприятия или, хотя бы как просто «знаковую дату».

В декабре 1953 г. Уткину шел 44-й год. Структурные преобразования внутри отдела 20 можно было бы проследить по записям в трудовых книжках и личных делах бывших сотрудников этого отдела.

В 1953 г. сектор считался более крупной единицей, чем лаборатория. Тот же Комиссаров 25.07.56 г. был переведен на должность начальника лаборатории, а 31 марта 1959 г. переведен (с повышением в окладе) на должность и.о. начальника сектора (на место С.А. Джанумова, ставшего освобожденным заместителем Уткина). При образовании отдела 20 начальником сектора радиотелеметрических систем был назначен С.А. Джанумов. По воспоминаниям Я.В. Малкова в составе отдела 20 находились и другие подразделения, где начальниками были Солодухо А.С., Колесников Н.А., Степанов А.А., Малков Я.В. (сменивший Степанова).

Одна из целей настоящего краткого очерка – осветить начальный период создания систем типа БРС в отделе 20, руководимом И.И.Уткиным. В секторе С.А. Джанумова отдела 20 по тематике радиотелеметрических систем молодыми специалистами помимо О.Д. Комиссарова, А.В. Милицина и А.И. Кравченко, работали: Л.Н. Неугодов (пришел в 1953 г.), В.М. Немиров (1954), А.И. Кравченко (январь 1954),

А.Ж. Курмаев, В.П. Сумский (декабрь 1955), Е.В. Дивин (начало 1956).

Молодые специалисты О.А. Сулимов, Л.Л. Коваленков и Г.Ф. Шамин (по воспоминаниям Шамина) в силу производственной необходимости были направлены И.И. Уткиным в подразделение, занимавшееся разработкой регистраторов с применением магнитной записи. Радиоинженер по образованию, Г.Ф. Шамин начал внедрять в магнитную запись методы, применяемые в радиотехнике: ВИМ (время – импульсная модуляция) и ШИМ (широотно-импульсная модуляция).

С образованием отдела 20 НИИ-88 тематика комплексного проведения вибрационных телеизмерений была включена в перечень основной тематической направленности работ этого отдела, первоначально в виде курирования работ, выполняемых в телеметрических подразделениях НИИ-885 и СКБ -567.

Получение результатов вибрационных измерений обеспечивалось созданием бортовых спасаемых регистраторов с регистрацией информации на магнитной ленте (регистраторы МАРС и серии регистраторов МИР и АРГ) и созданием стендовых проводных регистраторов СПРУТ (А.В. Милицин) для регистрации быстропеременных процессов и МНР (А.Ж. Курмаев) – для регистрации медленно меняющихся параметров. По инициативе сотрудников в отделе 20 были начаты работы по созданию полигонной системы СТАРТ, предназначенной для автоматизированной обработки телеметрической информации (А.В. Милицин, В.М. Немиров, П.А. Костюкевич).

По инициативе О.Д. Комиссарова, поддержанной руководителем отдела Уткиным И.И., были начаты работы по созданию радиотелеметрической системы, предназначенной для передачи информации о быстропеременных процессах по радиоканалу. Справедливости ради следует отметить, что первая радиотелеметрическая система РТС-5, предназначен-

ная для передачи информации о форме быстропеременных процессов, была создана в СКБ-567 (с 1952 г. директор и главный конструктор Губенко Е.И., умер в 1950 г.) и была предназначена для размещения на РН Р-7.

В дальнейшем техническое руководство СКБ-567 (М.Ф. Поликанов) отказалось от устранения обнаруженных при эксплуатации недостатков системы БРС-5 (низкая виброустойчивость бортового передатчика) и от продолжения в СКБ-567 данного направления работ. После 1957 г. работы по созданию радиотелеметрии для передачи данных виброизмерений были продолжены в пятом комплексе НИИ-88 (И.И. Уткин, С.А. Джанумов, О.Д. Комиссаров, А.И. Кравченко и др.).

Продолжение работ требовало комплексного подхода к решению задач вибрационных измерений, в частности, решения задачи создания наземных средств обработки вибрационных параметров. Эта задача была поставлена и решена в отделе 20 и в созданном на основе этого отдела комплексе 5, руководимых Уткиным (Г.Ф. Шамин, Б.П. Турченев, Ю.Н. Иртегов и др.).

В НИИ-88 (из воспоминаний Смирнова Л.Г.) еще до создания отдела 20 была проведена разработка нашедших широкое применение бортовых датчиков вибраций (Расторгуевым в подразделении Чижикова, о котором так красочно написал в своих воспоминаниях Черток) и были разработаны бортовые «виброусилители» (Михайлов по прозвищу «виброред» – из воспоминаний Л.Г. Смирнова). Бортовые датчики вибраций и многоканальные ламповые виброусилители использовались также совместно с автономными спасаемыми («автономными») регистраторами (предназначенными для запоминания параметров вибраций) серии АРГ, разработанными в отделе 20 и используемыми при испытаниях ракет. Одним из ветеранов, принимавших участие в создании и испытаниях на полигонах Капустин Яр и Тюра – Там автономных систем «вибрационного типа» и длительное время

возглавлявшим сектор по этому направлению, является Л.Г. Смирнов.

Первые разработки систем серии БРС (БРС-1), предназначенной для регистрации данных виброизмерений, были начаты с исследования путей по повышению виброустойчивости разработанных в СКБ-567 радиопередающих устройств с частотной модуляцией. То есть имели целью создание передатчика, не имеющего недостатка бортового лампового передатчика системы РТС-5, в котором вызванное вибрацией изделия дрожание управляющей сетки электронной лампы оказывалось неразличимо с электрическими вибросигналами, подаваемыми на эту сетку. Как вспоминал О.Д. Комиссаров, проблема представлялась настолько сложной, что после привлечения для консультаций видных отечественных специалистов были предложения признать тупиковым способ передачи данных виброизмерений по радиоканалу и отказаться от проведения дальнейших исследований.

Работы были продолжены при создании радиоприемных устройств собственной разработки системы БРС-2 (из воспоминаний Кравченко А.И.). Система БРС-2 была предназначена для приема данных бортовой системы БРС-1. Проводились работы по созданию первых наземных магнитных регистраторов для приемной станции (О.А. Сулимов., Г.Ф. Шамин, Л.Л. Коваленков, М.А. Палилов и др.), до внедрения которых в наземные телеметрические станции информация регистрировалась с использованием специальных фотоблоков на киноплёнку.

Перечисленный комплекс работ требовал от руководителя отдела 20 И.И. Уткина умения обобщать задачи, исходящие от разных главных конструкторов изделий РКТ, решать проблемы поиска новых смежников и вопросы освоения производства аппаратуры. И.И. Уткин замыкал на себя вопросы от создания первичных датчиков информации до аппаратуры обработки.

14 августа 1956 г. ОКБ-1 (численность 1500 чел.) вместе с заводом 88 был выведен из состава НИИ-88. Отдел 20 остался в составе НИИ-88, но часть сотрудников отдела 20 (более 80) была переведена в ОКБ-1 (Из книги по истории РККК «Энергия»).

В 1954 г. И.И. Уткин защитил кандидатскую диссертацию, а в 1959 г. ему без защиты диссертации по совокупности разработок была присуждена степень доктора технических наук.

17.10.60 г. в составе НИИ-88 на основе коллектива отдела 20 был организован пятый комплекс, начальником которого был назначен И.И. Уткин. Ориентировочно в 1963 г. было закончено строительство производственного корпуса, предназначенного для размещения коллектива комплекса, которое было начато по инициативе Уткина. В составе пятого комплекса были сформированы подразделения и тематические направления, ставшие затем «образующими» для тематики НИИИТ/НПОИТ: направление разработки датчико-преобразующей аппаратуры, направление разработки аппаратуры бортовой и наземной телеметрии, направление разработки «проводной» аппаратуры для стендов и аппаратуры обработки данных телеизмерений, конструкторское направление, экспериментальное производство.

17.10.60 г. (создание пятого комплекса) – вторая знаковая дата в истории НПО ИТ.

Создание комплекса 5 НИИ-88. Из мемуаров Ю.А. Мозжорина (с. 107):

«...На базе отдела 20 – отдела специальной измерительной аппаратуры, руководимого главным конструктором кандидатом технических наук (ошибка – доктором технических наук. – *Прим. авт.*) Иваном Ивановичем Уткиным, Георгий Александрович (Тюлин, директор НИИ-88. – *Прим. Авт.*) создает комплекс № 5 во главе с И.И. Уткиным. Этот комплекс состоял из четырех отделов:

- № 50 – датчиков, усилителей, преобразователей и коммутирующих устройств (начальник В.И. Дюков);
- № 51 – разработки новых регистрирующих и радиотелеметрических систем (начальник О.Д. Комиссаров);
- № 52 – автоматизации измерений и предстартовой подготовки (начальник А.В. Милицин);
- № 53 – конструкторский, бортовой и наземной аппаратуры (начальник А.И. Лапшин).

Разговоры о выделении в самостоятельный институт циркулировали в коллективе пятого комплекса с самого начала его образования. В 1966 г. И.И. Уткин и О.Д. Комиссаров, заручившись поддержкой М.К. Янгеля, вынесли на коллегию Министерства (недавно выделенного из Госкомитета по оборонной технике – ГКОТ) предложение о выделении пятого комплекса НИИ-88 в самостоятельный институт – НИИ измерительной техники. Эта инициатива (по словам Комиссарова О.Д., присутствовавшего на этой коллегии вместе с Уткиным И.И.) на коллегии Министерства была поддержана директором НИИ-88 Ю.А. Мозжориным и принята Министром. Главным конструктором – и.о. директора НИИИТ был назначен И.И. Уткин, его заместителем – С.А. Джанумов.

На момент создания отдела 51 Сулимов был одним из заместителей начальника отдела 51 Комиссарова.

Ю.А. Мозжорин в своих воспоминаниях («Так было...») описывает этот эпизод несколько иначе. Мозжорин был сам недавно назначен директором НИИ-88 (п/я 989), в состав которого входил руководимый Уткиным пятый комплекс. По причине своего недавнего назначения Мозжорин психологически не мог воспрепятствовать запущенному Уткиным И.И. «до Мозжорина» процессу выделению из НИИ-88 пятого комплекса в самостоятельное предприятие. Хотя объективно Мозжорин не был заинтересован в отделении пятого комплекса от НИИ-88. Из промышленного отдела ЦК КПСС (начальник отдела Сербин И.Д.) Мозжорину было

известно (об этом Мозжорин написал в своих воспоминаниях «Так было...»), что Уткин не будет назначен директором вновь создаваемого НИИИТ. Уткину об этом Мозжорин ничего не сказал, и Уткин продолжал деятельность по созданию НИИИТ как самостоятельного предприятия.

Конкретные причины длительного устойчивого негативно-неприязненного отношения Сербина к Уткину документально не известны.

В коллективе пятого комплекса бытовали разговоры о доносе на Уткина в вышестоящие партийные органы в бытность его парторгом НИИ-88. И если историки раскопали, кто писал доносы на репрессированных Клейменова, Лангемака, Глушко, Королева и Маринеско, то автора доносов на Уткина не знает никто.

По разговорам в доносе «сообщалось» об использовании Уткиным в «домашнем хозяйстве» ковра, привезенного из «немецкой экспедиции» и числившегося «за предприятием». Среди «исторических реликвий» в кабинете Уткина стояли механические часы с маятником. Уже при Сулимове эти часы перекочевали за периметр в кабинет начальника отдела кооперирования, откуда бесследно испарились. Другая реликвия – однодверный сейф – долго стоял в кабинете начальника отдела 10 Чернова В.В. «И это – единственный неогораемый сейф, который имеется на предприятии», – говорил Чернов. В отличие от других сейфов типа железных шкафов, этот имел внутри толстые жарозащитные стенки. Возможно, этот «брауновский» сейф еще находится на территории предприятия.

Так или иначе, этот донос послужил причиной смещения Уткина с должности парторга ЦК НИИ-88, а 16 лет спустя – одной из причин «неназначения» Уткина директором вновь созданного НИИИТ.

Как упоминалось выше, по информации, полученной автором от зам. нач. отдела кадров НПО ИТ Майоровой Р.К., незадолго до смерти И.И. Уткин приходил в отдел кадров

НПО ИТ, попросил свое личное дело и собственноручно внес на его последней странице запись, свидетельствующую о том, что его репрессированный в конце 40-х годов брат реабилитирован. По всей видимости, причиной отстранения Уткина от должности парторга ЦК НИИ-88 мог быть именно арест брата. Возможно, Уткин И.И. своевременно не сообщил «вышестоящему руководству» об аресте брата. Возможно, обвинения, предъявленные брату Уткина, и обстоятельства, связанные с его арестом, а не причины, бытовавшие в НИИ-88 в виде слухов (на Уткина поступил анонимный донос в партийные органы о нецелевом использовании им вывезенного из Германии трофейного имущества, являющегося собственностью НИИ-88.). Но это сведения на уровне непроверенных слухов. Возможно, имело место совпадение двух фактов: арест брата и донос.

01.01.67 г., НИИ – 88 был преобразован в ЦНИИМАШ.

Некоторое время спустя директором НИИИТ с переходом с должности второго секретаря ГК КПСС г. Калининграда был назначен О.Н. Шишкин.

Еще некоторое время спустя после 60-летия Уткина по инициативе Шишкина Уткин с должности главного конструктора был отправлен на пенсию «по возрасту» и «приземлился» в Московском лесотехническом институте на «запасной аэродром» заведующим кафедрой на факультете электронной счетной техники, организованном при его активном участии.

После вынужденного ухода Уткина из института «на пенсию» в 1970 г. на должность главного конструктора НИИИТ никто не был назначен. Были введены новые научные должности – зам. директора по научной работе (С.А. Джанумов) и три должности «начальник отделения – главный конструктор по направлению» (первого – датчико-преобразующая аппаратура, второго – по телеметрии и четвертого – по обработке радиотелеметрической информации).

Основным достижением жизни И.И. Уткина следует назвать создание отдела 20 НИИ-88, создание коллектива пятого комплекса НИИ-88, организация НИИ Измерительной техники, а также создание в 1959 г. факультета электронной и счетной техники (ФЭСТ) и кафедры в Московском лесотехническом институте (в настоящее время – Московский государственный университет леса). И в отделе 20 и в НИИИТ осуществлялся практически комплексный подход к разработке измерительных средств: от разработки датчиков – до обработки телеметрической информации, от стендовых измерений – к летным испытаниям. Инициатором начала работ и ближайшим помощником и верным продолжателем дела Уткина И.И. по развитию системы БРС-4 был О.Д. Комиссаров.

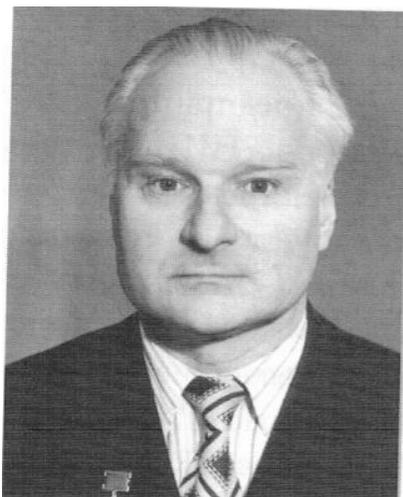
И.И. Уткин – основоположник системного подхода к телеизмерениям при испытаниях РТ: в отделе 20 и в пятом комплексе проводились разработки всего комплекса телеизмерительных средств – первичные преобразователи, средства радиотелеметрии, вторичная обработка данных.

И.И. Уткин – организатор отдела 20 НИИ-88 и пятого комплекса НИИ – 88, инициатор выделения из НИИ-88 пятого комплекса в виде самостоятельного юридического лица. К моменту создания НИИИТ коллектив пятого комплекса уже размещался на «собственных» производственных площадях и имел соответствующую организационную структуру.

И.И. Уткин – первый главный конструктор НИИИТ и первый и.о. директора НИИИТ.

Скончался И.И. Уткин в Москве 29 августа 1985 г., похоронен на Хованском кладбище.

КОМИССАРОВ Олег Дмитриевич



Родился в Москве 23 декабря 1928 г. В 1943 г. после окончания 7-го класса 267-й школы поступил в Московский авиационный техникум, где окончил два курса. В 1945 г. перешел на подготовительное отделение МАИ, а в 1946 г. после сдачи экзаменов на аттестат зрелости поступил на радиотехнический факультет МАИ.

Ракета Р-2 была принята на вооружение в конце 1951 г., дипломную работу Комиссаров выполнял в НИИ-88, и она была связана с модернизацией радиотелеметрической системы, установленной на этой ракете. После защиты дипломного проекта 28 апреля 1952 г., получив диплом с отличием, он был принят на работу в лабораторию радиотелеметрии (Джанумов С.А.) отдела 5 ОКБ-1, входившего тогда в состав НИИ-88. Начальником и Главным конструктором ОКБ-1 был Королев С.П., начальником 5-го отдела в это

время был Янгель М.К., а его заместителем – Черток Б.Е. С этого момента и до последних дней жизни работа Комиссарова О.Д. была связана с ракетной радиотелеметрией и с испытаниями ракет. Можно сказать, что он во время закончил институт по нужной специальности радиоинженера: 17 декабря 1953 г. в связи с изменением структуры института приказом по НИИ-88 из нескольких подразделений был организован отдел специальных измерений 20. Начальником отдела был назначен Иван Иванович Уткин. В отделе было предусмотрено несколько лабораторий: радиосистем и высокочастотной аппаратуры, автономных (спасаемых) систем, температурных измерений. Комиссаров был переведен из отдела 5 в отдел 20 и назначен начальником группы, а в 1957 г. за участие в работах по обеспечению запуска первого искусственного спутника Земли он был награжден первым орденом Трудового Красного Знамени.

В 1956 г. Комиссаров уже начальник лаборатории. В 1956 г. по инициативе Комиссарова и под его руководством разрабатывается бортовая радиотелеметрическая система БРС-1, предназначенная для измерения быстроменяющихся параметров. Комиссаров возглавил коллектив, в котором тон задавали выпускники московских и ленинградских вузов, среди которых были А.И. Кравченко, А.Ж. Курмаев, В.П. Сумский, Е.В. Дивин, Г.Ф. Шамин, Р.М. Беляев, Б.П. Турченев, О.Н. Новоселов и др. Коллектив, возглавляемый О.Д. Комиссаровым, решил крайне актуальную для ракетной техники проблему – создал средства, позволяющие надежно и достоверно исследовать вибрационные процессы во время летных испытаний ракет. В 1959 г. Комиссарову О.Д. была присвоена ученая степень кандидата технических наук (без защиты диссертации). 17 октября 1960 г. отдел 20 НИИ-88 (п/я 989) был преобразован в измерительный комплекс № 5. Начальником комплекса был назначен Уткин И.И. В составе комплекса было образовано несколько отделов. Отдел радиотелеметрии (№ 51) возглавил Комисса-

ров О.Д. Одним из заместителей Комиссарова О.Д. был назначен начальник лаборатории наземных средств О.А. Сулимов. Сулимов, закончив МВТУ им. Н.Э. Баумана, не был радиоинженером. По этой причине после получения диплома был направлен не в подразделение радиотелеметрических средств, а в коллектив разработчиков средств автономных систем («черных ящиков» для ракет и КА). В состав отдела 51 входила также лаборатория бортовых средств и средств радиолинии (Л.Н. Неугодов) и лаборатория средств наземной магнитной записи (Г.Ф. Шамин).

За участие в работах по обеспечению запуска первого человека в космос в 1961 г. О.Д. Комиссаров был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

1963–1967 гг. знаменательны проводимой в отделе 51 НИИ-88 работы по созданию радиотелеметрической системы БРС-4, обеспечивающей передачу в одном радиоканале вибрационных параметров в аналоговом виде и медленно-изменяющихся параметров – в цифровом виде. Были скептики, которые не верили в возможность практического осуществления задуманного. Начальник отдела Комиссаров делает два доклада на конференциях в артиллерийской академии им. Дзержинского и в Военно-воздушной академии им. А.Ф. Можайского. Были разработаны, отлажены и подготовлены к испытаниям первые образцы бортовой и наземной аппаратуры. Испытания проводились на ракетах 8К64 и 8К99 главного конструктора М.К. Янгеля и подтвердили преимущество применения радиотелеметрической системы БРС-4 при испытаниях баллистических ракет указанного класса. В общем объеме работ пятого комплекса НИИ-88 разработка системы БРС-4, разработка датчиков-преобразующей аппаратуры и аппаратуры обработки, работающих совместно с аппаратурой БРС-4, явились важным доводом в пользу преобразования пятого комплекса в НИИ измерительной техники.

После проведения ЛКИ совмещенной системы БРС-4 и выхода Постановления СМ СССР № 671-231 от 15.08.69

(приказ Министра № 256 от 28.08.69) об оснащении полигонов Министерства обороны СССР, предназначенных для испытаний МБР, радиотелеметрическими средствами систем телеизмерений на базе системы БРС-4 и ее модификаций, НПОИТ стал неперенным участником очередного витка «ракетной гонки». Таким образом, на НИИИТ по инициативе Комиссарова была возложена головная роль комплексного обеспечения измерениями испытаний всех отечественных образцов ракетной техники. Министерство общего машиностроения произвело «раздел сфер влияния и рынков сбыта»: НИИП была отведена головная роль по созданию и обеспечению средств телеметрических измерений космических аппаратов (КА) и космических станций (КС). Телеметристам ОКБ МЭИ осталось свободное поле – обеспечение телеизмерениями изделий авиационной техники, включая создание телеметрии для крылатых ракет разработки Минавиапрома.

Создание средств телеметрии для обеспечения испытаний крылатых ракет разработки предприятий Минобщемаша поручалось НИИИТ–НПОИТ.

Еще до этого Постановления в 1967 г. Комиссаров О.Д. был направлен в служебную командировку (с 5 по 18 апреля) во Францию. По приезде им была проявлена инициатива по организации проведения разработки бортовой радиотелеметрической системы БРС-4 «Сириус» на основе элементной базы третьего поколения. Разработка проводилась в НИИ микроприборостроения (НИИ МП, г. Зеленоград, директор Г.Я. Гуськов, главный инженер М.Ф. Поликанов, начальник отдела разработчиков схемной документации Я.Д. Мартыненко). 17 мая 1973 г. приказом министра общего машиностроения С.А. Афанасьева № 66к О.Д. Комиссаров был назначен заместителем директора по научной работе. В 1972 г. в содружестве с НИИ МП (г. Зеленоград, директор Г.Я. Гуськов) проведена разработка варианта бортовой радиотелеметрической аппаратуры БРС-4 «Сириус» в микроэлектронном исполнении.

Первой ракетой, для которой была «востребована» аппаратура «Сириус», была ракета, известная теперь во всем мире как Р-36М, SS-18, «Сатана» (главный конструктор В.Ф. Уткин). Изготовление аппаратуры осуществлялось на заводе им. Шевченко (г. Харьков, директор Бакланов О.Д.). Один из основных блоков (СС-1М) совмещенной системы «Сириус» изготавливался в опытном производстве НПО ИТ. Завод не принял документацию для изготовления, так как документация на блок СС-1М была разработана с отставанием от других блоков. Причиной отставания послужила инициатива сотрудников отдела 21 (В.П. Сумский, В.А. Победоносцев) по переработке блока – аналога (СС-1), которые «заметили», что микросистемный блок СС-1 имеет такие же габариты, что и блок ИС-1162 5100 (разработчики Ю.М. Сазонов, А.И. Матреничев), разработанный на основе элементной базы второго поколения, т.е. попросту говоря – на корпусных транзисторах. Радиопередающие устройства разработки НИИ МП оказались неудачными и были заменены приборами разработки НПО ИТ. В НПО ИТ была проведена также разработка лентопротяжных механизмов бортовых запоминающих устройств, ряд полупроводниковых запоминающих устройств и блоков контроля цифровой информации БЦВК бортовых систем управления ракет. Блоки радиопередающего устройства и электромеханического запоминающего устройства системы «Сириус» были освоены на Ижевском радиозаводе (директор В.А. Шутов, главный конструктор М.И. Чурилов). В дальнейшем производство приборов аппаратуры «Сириус» было освоено на заводах Минобщемаша в Харькове, Киеве, Чернигове и Новополоцке. Организацией кооперированных поставок системы «Сириус» занималось 10-е Главное управление Минобщемаша (О.Ф. Антуфьев). С 1970 по 1991 г. с помощью средств БРС-4 были обеспечены испытания всех без исключения проектировавшихся в этот период отечественных баллистических ракет дальнего и среднего радиуса действия всех видов базирования (за это

время в ходе ракетной гонки «холодной войны» СССР – США было поставлено на вооружение более 15 боевых ракетных комплексов).

В процессе производства по замечаниям эксплуатирующих организаций усилиями инициативных сотрудников отдела 21 (В.А. Победоносцев) блоки аппаратуры «Сириус» были существенно модернизированы. При ведущей роли отдела 21 второго отделения (начальник отделения радиотелеметрии А.Ж. Курмаев) до 1988 г. был разработан ряд новых бортовых блоков и бортовых систем (СКИФ, МБА-07, ОКА, КВАРЦ, АРС, СКУТ, ФЕНИКС и др.). Совершенствовались антенно-приемные средства. Были разработаны антенные системы БРС-4 «Жемчуг», «Изумруд» (В.Ф. Баталов, В.А. Войтенко), доработана для использования совместно с системой БРС-4 антенна ТНА-57. Была разработана более совершенная приеморегистрирующая станция ПРА-МК (А.М. Михайлов, А.И. Кравченко, Г.Ф. Шамин и др.). Условия ракетной гонки холодной войны требовали непрерывного участия руководителей высокого ранга при проведении летных испытаний ракет. По распределению работ внутри НПО ИТ О.Д. Комиссарову было поручено сопровождение испытаний ракет главного конструктора В.П. Макеева. За обеспечение этих испытаний Комиссаров был награжден орденом Ленина.

Основные принципы и аппаратные решения бортовых и наземных средств системы БРС-4 продолжали развиваться и после 1972 г. В должности начальника отделения 2 – главного конструктора направления О.Д. Комиссарова сменил А.Ж. Курмаев. Вместо него начальником ведущего отдела по разработке наземной приеморегистрирующей станции был назначен А.М. Михайлов. Проводились интенсивные разработки и внедрение в производство и эксплуатацию бортовых и наземных средств системы БРС-4. После 1972 г. дело Комиссарова в продолжении работ организационно и «по технике» по модернизации совмещенной радиотелеметрической

системы БРС-4 продолжили его ближайшие соратники и помощники из второго отделения: А.Ж. Курмаев, Е.В. Андреев, Е.В. Дивин, В.П. Сумский, А.М. Михайлов, А.И. Кравченко, В.А. Победоносцев, Г.С. Анурьев, С.В. Солецкий, Л.М. Гайсинский, Е.Л. Голосов, В.С. Манцевич, Л.И. Денисович, В.И. Ергучев, Б.Н. Рыжов, Ю.П. Смирнов, Л.Г. Смирнов, А.И. Козлов, В.А. Славнин, Ю.Д. Ивасенко, Л.С. Гельбштейн, Г.З. Лондон, В.Ф. Баталов, Г.М. Шамин, В.И. Галкин, В.М. Лексин, В.Н. Сорокин, Г.С. Анурьев, А.Н. Дебальчук, Л.М. Гайсинский, В.М. Сазонов и многие-многие другие, а также сотрудники третьего (конструкторского) отделения (Н.Г. Одинцов, А.Н. Фролов, А.Б. Фридлянд, В.Ф. Баранов и др.).

О.Н. Шишкин, О.А. Сулимов, В.И. Язовцев, В.М. Школьников приложили немало усилий, чтобы заложить и развить в институте мощную технологическую базу для разработок бортовых и наземных средств системы БРС-4: Н.Г. Одинцов, А.Н. Фролов, Ю.А. Киселев, В.Ф. Баранов – в унификации конструктивов аппаратуры; В.С. Нестеренков, А.А. Ишатенко, В.Я. Гришунин, А.В. Вурсол – в организации экспериментального производства по изготовлению бортовых средств.

Исключительно с использованием бортовых и наземных средств БРС-4 были обеспечены испытания космических ракет-носителей «Зенит» и «Энергия». На борту ракеты «Зенит» на этапе летных испытаний устанавливалось по пять комплектов бортовой аппаратуры «Сириус» (ведущий по бортовой аппаратуре отдел 21). На борту ракеты «Энергия» размещалось 624 прибора, входящих в состав бортовых телеметрических систем и более 2000 датчиков и преобразователей разработки НПО ИТ. Прием данных телеметрии обеспечивался антенно-приемными средствами и станциями ПРА-МК разработки второго и третьего (конструкторского) отделений: А.Ж. Курмаев, А.Н. Фролов, А.Б. Фридлянд, А.М. Михайлов, А.И. Кравченко, Г.Ф. Ша-

мин, В.Ф. Баталов, В.М. Лексин, В.А. Войтенко и многие др. А также «комплексируемые» в единую систему названные наземные приемные средства на технической позиции в районе старта и на измерительных пунктах по трассе полета (В.Н. Четвериков и другие сотрудники отделения номер шесть), и колоссальный комплекс наземных средств обеспечения измерений пристартового района и средств обработки (Грибков Н.М. и другие сотрудники отделения номер четыре). На возвращаемом КА «Буран» размещались спасаемые системы измерений («черные ящики») разработки НПО ИТ. Двенадцать лет напряженной работы коллективов предприятий нескольких министерств и испытателей полигона потребовалось, чтобы обеспечить удачные пуски «Энергии» и «Бурана». После многолетнего напряженного труда при разработке измерительных средств, их освоению на серийных заводах, вводу в эксплуатацию на объектах полигона огромное удовлетворение испытал каждый активный участник работ, и это было наивысшей наградой! Так сложились обстоятельства, что «триумф прошел стороной», а «многие активные участники этих событий остались без наград» (В.М. Филин, РКК «Энергия»).

С 1988 года темп разработок по тематике БРС-4 резко сократился, а в 1991 г. было объявлено о прекращении «холодной войны».

Главные достижения в жизни О.Д. Комиссарова состоят в том, что по его инициативе и под его руководством были заложены и развиты основы системы БРС, в том числе совмещенной радиотелеметрической системы БРС-4. Был дан мощный толчок разработке бортовой аппаратуры БРС-4 в микроэлектронном исполнении (третьего поколения). При поддержке руководителей Минобщемаша и Минобороны радиотелеметрическая система БРС-4 и ее модификации стали основой измерительных средств на полигонах Министерства обороны при испытаниях межконтинентальных баллистических ракет, создаваемых в СССР в период ракетной гонки

«холодной войны» СССР – США после 1969 г. и при испытаниях космических ракет-носителей «Зенит», «Энергия». О.Д. Комиссарову принадлежит также лидирующая роль в создании кооперации по разработке аппаратуры шифрования радиотелеметрической информации системы БРС-4. Задача шифрования радиотелеметрической информации была поставлена Д.Ф. Устиновым при проведении испытаний РН «Тополь 2»; испытания РН, известной в настоящее время как «Тополь», по указанию Д.Ф. Устинова, лично курировавшего и опекавшего ход испытаний этой машины, были приостановлены до окончания разработки аппаратуры шифрования системы БРС-4. Этому решению Устинова предшествовали результаты НИР, проводимой ориентировочно в период 1960–1970 гг. в одном из НИИ Минобороны с целью получения ответа на вопрос: можно ли по результатам перехваченных данных телеметрии во время летных испытаний новой боевой ракеты установить охраняемые характеристики дальности, точности и грузоподъемности этой ракеты? В выводах НИР был ответ: «Можно».

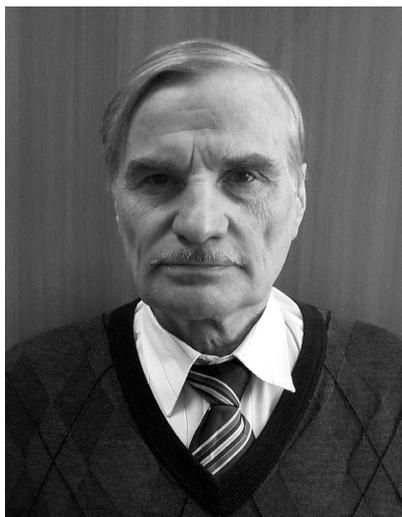
О.Д. Комиссаров был награжден орденом Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», орденом «Почета», медалями и знаками. О.Д. Комиссаров – лауреат Государственной премии СССР. Лауреатами Государственной премии стали многие разработчики системы БРС-4.

О.Д. Комиссаров принимал участие в составе делегации от СССР и от РФ в переговорах с США об ограничении стратегических наступательных вооружений и проявил на этом новом для себя поприще незаурядные дипломатические способности. Он собирался написать воспоминания об этой работе, но не успел. В составе делегации он занял лидирующую роль эксперта по телеметрии и по достижению взаимной договоренности в поиске компромисса на этих переговорах о снятии шифрования радиотелеметрической информации при испытаниях и пусках МБР США и РФ (СССР). При

этом речь шла исключительно о снятии шифрования радиотелеметрической информации, передаваемой с применением системы БРС-4 взамен уступок со стороны делегации США по количеству развертываемых крылатых ракет.

Умер О.Д. Комиссаров 23 января 2000 г. Похоронен на Пятницком кладбище Москвы.

ПОБЕДОНОСЦЕВ Валерий Александрович



Родился 20.12.1938. в сельской местности (Тюменская область) и закончил сельскую среднюю школу. Окончил МЭИ, радиоинженер (1963), заочную аспирантуру МАИ им. С. Орджоникидзе, к.т.н. (1979), д.т.н. (Военная академия РВСН им. Петра Великого, 2004), профессор кафедры (2010). В 1961 – 1963 гг. работал в ОКБ МЭИ, г. Москва: ст. техник, инженер. В 1963–2000 гг. работал в НИИ-88 – НПО измерительной техники, г. Калининград (г. Королев), Московской обл.: инженер, ст. инженер, ст. инженер – рук. группы, начальник группы, начальник сектора, начальник лаб., начальник отдела, зам. главного конструктора – начальник бортового комплекса, зам. начальник экспериментального производства; в 2007–2008 гг. – зам. генерального директора по научной работе НПО ИТ.

Практик разработки и испытаний бортовой ракетной радиотелеметрии, ученик и соратник Уткина И.И., Комиссарова О.Д., Сумского В.П. Прошел «школу Комиссарова», который требовал от своих сотрудников – учеников, чтобы они проходили все ступени роста инженера: личная разработка прибора или устройства до внедрения его в производство и в эксплуатацию, владеть и уметь решать задачи создания и комплексирования систем, пройти личное (многomesячное) участие в освоении разработанной аппаратуры на приборостроительных заводах и в испытаниях изделий на (ракетных) заводах, в испытаниях на технических позициях (ТП) и стартовых комплексах полигонов, на измерительных пунктах приема телеметрической информации.

В 1996–1998 гг. – в Российском НИИ космического приборостроения, г. Москва: зам. начальник отделения телеметрии и (по совместительству) – в НПО ИТ. С 2000 по 2006 г. в ФГУП «НИИ космического приборостроения»: зам. гл. конструктора, гл. конструктор – зам. ген. директора по научной работе.

С 2008 г. начальник отдела, зам. гл. конструктора ОАО «НИИ КП», главный конструктор антенно-приемных систем, зам. главного конструктора ОКР. С 2014 г. – начальник отдела научно-производственного комплекса Филиала ОАО «Ракетно-космическая корпорация» – НИИ космического приборостроения.

В ОКБ МЭИ принимал участие в развертывании антенно-приемных систем (разработки ОКБ МЭИ) и в приеме телевизионной информации с КА «Восток-2» на НИПе.

В НПО ИТ – разработчик бортовых блоков (начальник пятого комплекса НИИ-88, Уткин И.И., начальник отдела 51 Комиссаров О.Д., начальник сектора Сумский В.П.) и участник подготовки бортовой аппаратуры и проведения летных испытаний системы БРС-4 (1966–1967 гг.).

Активный участник разработки, внедрения в серийное производство и испытания в составе изделий ракетной тех-

ники бортовой телеметрической аппаратуры «Сириус» системы БРС-4 (1969–1996 гг.). Ведущий по аппаратуре «Сириус» с момента написания и согласования технического задания на эту аппаратуру (руководитель группы, начальник сектора, начальник лаборатории, начальник отдела), участник внедрения этой аппаратуры в серийное производство на приборных заводах Министерства общего машиностроения и участник цеховых и полигонных испытаний этой аппаратуры в составе изделий ракетной техники (начальники отделения Комиссаров О.Д., Курмаев А.Ж.).

Разработка радиопередающих устройств аппаратуры «Сириус» осуществлялась в подразделении, специализирующемся на разработке высокочастотной аппаратуры (А.И. Кравченко, В.С. Манцевич, Л.И. Денисович, В.И. Ергучев, Б.Н. Рыжов, А.Г. Воличенко, А.М. Мишарин и др., руководители конструкторских подразделений Н.Г. Одинцов, А.Н. Фролов, В.Ф. Баранов).

В 1973–1988 гг. в качестве начальника ведущей лаборатории и ведущего отдела № 21 (с 1979 г., после В.П. Сумского) – руководитель разработки дополнительных электронных блоков аппаратуры «Сириус». При этом блоки радиопередающих устройств разрабатывались в лаборатории В.С. Манцевича, электромеханические блоки бортовых запоминающих устройств – в конструкторском подразделении (А.И. Лапшин, А.Б. Фридлянд, Н.Г. Одинцов, А.Н.Фролов, ведущие разработчики Г.С. Васин К.Ю., Бекрев и др.). «Ведущее» подразделение обеспечивало разработку технических заданий, оказание помощи сотрудникам предприятия-заказчика и сотрудникам 10 Главного управления Министерства общего машиностроения (А.В. Гориш и др.) в разработке директивных документов. Ведущее подразделение обеспечивало выпуск общей документации (схемы соединений, общей текстовой документация на «системы» и др.), «увязывание» межблочных внутрисистемных электрических сечений, «увязывание» всего тракта передачи регистрации теле-

метрической информации, выпуск сетевых графиков, согласование программ измерений изделий РТ, составление и ведение договоров на разработку и поставку «систем» бортовой аппаратуры, изготавливаемой в экспериментальном производстве предприятия, сопровождение аппаратуры в производстве и испытаниях.

Система «Сириус» в 1969–2000 гг. изготавливалась на пяти приборных заводах Министерства общего машиностроения городов Харькова, Ижевска, Киева, Чернигова и Новополюцка и обеспечила проведение летных испытаний более 15 изделий (баллистических ракет) пяти отечественных ракетных конструкторских бюро. А всего система БРС-4 разных модификаций бортовой и наземной аппаратуры обеспечила испытания более 25 изделий. Как разработчик бортовой телеметрической аппаратуры принимал участие в испытаниях этих изделий на разных стадиях, в том числе при подготовке к пускам на ТК и СК четырех отечественных испытательных ракетных полигонов (ныне два из них именуют «космодромами»).

Начальник ведущего сектора и ведущей лаборатории по разработке бортовой телеметрии для боевых блоков ракет: вариант 6.ИС-1162, вариант 5 «Сириус», МБА, «Скиф», «ОКА», «Скут-Б». Участник многих заседаний Советов главных конструкторов по изделиям КБ Машиностроения (В.П. Макеев, г. Миасс) и КБЮ (В.Ф. Уткин, г. Днепрпетровск). Член государственной комиссии по испытаниям изделия «Мишень» (главный конструктор по отработке боевых блоков различного класса КБ машиностроения/ГРЦ «КБ им. В.П. Макеева» на внутреннем полигоне «Капустин Яр» Зайцев А.Л.), для которого и была разработана аппаратура «Скут-Б». Участник, координатор и руководитель работ по модификации бортовой аппаратуры «Сириус» и «Скут».

В должности начальника лаборатории и начальника отдела (1973–1988 гг.) – технический руководитель разработки бортовой телеметрии МБА-07 (программируемый

опрос данных), «Скиф», ОКА–АВГ (со «сжатием данных») системы БРС-4.

Участник испытаний при подготовке и проведении ЛИКА «Союз (1)», КА «Зонд -6», «Зонд – 7», изделий РТ «Пионер», «Тополь», «Молодец», «Воевода», «Зенит», «Энергия» и др. (всего более 25 изделий ракетной техники, в том числе более 15 изделий, оснащенных аппаратурой «Сириус»). Участник внедрения в производство бортовой телеметрической аппаратуры, размещенной на РКН «Энергия», участник подготовки и испытаний РКН «Энергия».

В 1995–1996 гг. – инициатор и участник повторного освоения аппаратуры «Скут» в экспериментальном производстве НПО ИТ в интересах обеспечения ЛИ изд. «Тополь-М» и «Протон-М».

В РНИИ КП принимал участие в комплектации и испытаниях бортовой телеметрической аппаратуры БИТС2-12 российского модуля МКС.

В НИИ КП – принимал участие в испытаниях приборов цифровых телеметрических радиолиний РБ «Бриз-М», РБ «Фрегат», KSLV-1. Автор более 105 технических, популярных и других публикаций, в том числе 49 а. с. на изобретения и один патент. Автор монографии «Основания информметрии» («Радио и связь», 2000). Автор теоремы о неравноотстоящих отсчетах (1995), теории измерения телеметрической информации о форме непрерывных сигналов на конечных интервалах времени, следствиями которой являются определение условий существования предела сжатия данных и синтез алгоритма предельного сжатия данных (2000). Автор книг по истории отечественной радиотелеметрии: «Очерки истории развития отечественной ракетной радиотелеметрии (1946–2006)», изд-во «Тривант» (четыре издания) и «Записки телеметриста» (2014).

Преподавал в МАИ и МГТУ им. Н.Э. Баумана (по совместительству). Избирался председателем совета трудового

коллектива НПОИТ, членом ГК КПСС и депутатом городского совета г. Калининград, Моск. обл.

Член-корреспондент (1997) и почетный академик (2011г.) Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, лауреат Государственной премии СССР (1982) за участие в создании аппаратуры шифрования радиотелеметрической информации. Награжден орденом Трудового Красного Знамени (1976) за участие в обеспечении испытаний изделий разработки Московского института теплотехники, гос. медалями, медалями Федерации космонавтики России, в том числе медалью ФКР «За заслуги» Федерации космонавтики России. За участие в реализации космических проектов и программ. «Отличник социалистического соревнования Минобщемаша» (1972), «Почетный радист» (1975). Почетные грамоты Росавиакосмоса (2000) и Роскосмоса (2007). Ветеран космодрома «Байконур» (1987). Награжден медалью Роскосмоса «В память 50-летия «Байконура» (2005). Более 60 записей в трудовой книжке об объявлении благодарностей приказами по предприятию.

I. РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В РАЗВИТИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В МИРЕ

А.В. Гориш, Д.В. Панов, И.С. Рубцов, Е.Ю. Миненко

В ракетно-космической отрасли радиотелеметрическая информационно-измерительная техника (РТИИТ) занимала ведущую роль в процессах создания и эксплуатации различных изделий ракетно-космической техники. Следует особо отметить, измерительная техника играет определяющую роль в экономике, техническом прогрессе, уровне жизни людей всех стран мира.

Основоположник отечественной метрологии Д.И. Менделеев выразил значение измерений следующими словами: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять ...» [1-4].

В философском плане измерения – один из единственных способов познания материального мира. На эту роль измерений неоднократно указывали великие ученые всех стран и народов: Г. Галилей: «Измеряй все доступные измерению и делай доступным все недоступное ему», Т. Кельвин: «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой ее можно измерить». Русский ученый Б.С.Якоби писал: «Искусство измерения является могущественным оружием, созданным человеческим разумом для проникновения в законы природы и подчинения ее сил нашему государству» [5, 6].

Современное общество немыслимо без измерений. Высокая точность управления полетами космических аппаратов достигнута благодаря современным средствам измерений, установленным как на космических аппаратах, так и на земле. Здесь уместно привести любимую поговорку основоположника отечественной космонавтики С.П. Королева: «Семь

раз отмерь, хорошенько проверь, один раз отрежь и снова проверь» [7].

В производственной деятельности измерения служат обеспечению взаимозаменяемости и современности деталей компонентов изделий, позволяют вести контроль технологических процессов и качества продукции. На предприятиях осуществляют большое число измерений на всех стадиях производства: подготовка (входной контроль) исходных материалов, комплектующих, различных параметров технологических процессов, приемка продукции, расходы энергоресурсов, контроль параметров окружающей среды и др.

За один день в мире производятся миллиарды измерений. Особое место занимают измерения в точном приборостроении. Дело в том, что большинство изделий точного приборостроения сами являются прецизионными средствами измерений. В процессе создания, испытаний и эксплуатации изделий точного приборостроения приходится иметь с большим количеством измеряемых физических величин, разнообразных по физической природе, пределам измерений и точности. В качестве примера рассмотрим роль измерительной техники в решении одной из сложных и великих задач человечества – работы по созданию атомной бомбы.

С XVII в. в Европе научные академии определили, чтобы на их заседаниях не допускалось никаких дискуссий о политических, моральных или теологических проблемах.

В 1919 г. в лаборатории Э. Резерфорда осуществили вековую мечту человечества: в результате бомбардировки азота альфа-частицами удалось превратить его в *кислород* или *водород*. Таким образом, возможность превращения одного вещества в другое стала фактом. Лаборатория Резерфорда в 1919 г. коснулась военной тематики. Его молодых сотрудников всех призвали на военную службу.

Венский радиевый институт передал во временное пользование 250 кг радия коллегам Резерфорда. Физики,

перед войной годами работавшие в тесном общении, не смогли сделаться врагами по команде сверху.

В это время в области атомных исследований существовало три главных центра притяжения:

1. Кембридж – Эрнест Резерфорд.

2. Копенгаген – Нильс Бор.

3. Геттингенский триумвират – Макс Борн, Джемс Франк и Давид Бильберт.

Между этими центрами происходил обмен достигнутыми исследованиями в области атома (Планк, Эйнштейн, супруги Кюри, Резерфорд и Бор). Один за другим нанесли ряд сокрушительных ударов по зданию физики.

Однако Э. Резерфорд считал, что человечество никогда не сможет использовать энергию, дремлющую в атоме.

1.1. Роль Геттингенского университета в мировой деятельности физиков

В 1920-х гг. университет Геттингена был подлинным центром неустанной научной деятельности физиков. Старинный университет Георгии Августы являлся центром выдающихся ученых мира.

Фридрих Гаусс, затем Феликс Клейн укрепили и усилили славу Геттингена. В этом университете выступали с лекциями Анри Пуанкаре, Лоренц, Планк, Нильс Бор, Гильберт, Мак Борн, Франк, Роберт Оппенгеймер, Гейзенберг, Энрико Ферми, Абрам Иоффе и др.

В 1932–1933 гг. дружеская в прошлом атмосфера ученых стала напряженной, молодые талантливые ученые (Лео Сциллард, Джан Фон Нейман, Эдвард Теллер и др.) успешно трудились над решением проблем атомной физики в Геттингене, Гамбурге и Берлине. Результаты исследований показали, что появилась возможность создания мощного оружия.

Когда Гитлер пришел к власти, ученые покинули Германию и уехали в США и другие страны.

В это время молодые талантливые физики, такие как Лео Сциллард, Роберт Оппенгеймер, Эдвард Теллер, Джон фон Нейман, Альберт Эйнштейн, Макс Борн, Нильс Бор и др., успешно трудились над решением проблем атомной физики. Все боялись, что Гитлер первым овладеет столь ужасным оружием.

Осенью 1933 г. Альберт Эйнштейн переехал в США в г. Тринстан и перенес свою резиденцию из Германии.

1.2. Альберт Эйнштейн и его роль в создании атомной бомбы

Благодаря высокоточной измерительной аппаратуре в это время были достигнуты выдающиеся результаты в области атомной физики:

- открытие нейтрона в Кембридже Чэдвиком;
- Энрико Ферми в Риме – достижения в физике атома;
- Отто Ганн – высвобождение нейтронов.

Практически все известные физики оказались в США. Достигнутые исследования показали, что представляется возможным создать атомную бомбу.

Образовалась группа наиболее талантливых физиков-теоретиков, математиков, экспериментаторов, которые разрабатывали, изготавливали и широко внедряли новые образцы измерительной техники для задач атомной физики.

С конца апреля по конец июля 1939 г. физики были озабочены тем, как довести до сведения американского правительства значение атомного оружия. Первая попытка была осуществлена 17 марта 1939 г. Э. Ферми – он посетил адмирала Хупера, начальника технического управления Военно-Морских Сил США, с рекомендательным письмом от Дина Джорджа Пеграма из Колумбийского университета, но потерпел фиаско.

Физики продолжали поиски встреч с правительством США.

Сцилард составил письмо, согласовав его с Альбертом Эйнштейном, и обсуждал его с Александром Столпером – немецким экономистом, который был знаком с Александром Саксом – финансистом международного масштаба, пользовавшимся благосклонным вниманием президента Ф. Рузвельта и имеющим доступ в Белый дом. Начиная с 1939 г. Сакс стал неофициальным, но весьма влиятельным советником американского президента. Сакс сразу поддержал Сциларда, он составил второй проект письма и считал необходимым направить его прямо в Белый дом.

11 октября 1939 г. Сакс вручил письмо, составленное Сцилардом и подписанное Эйнштейном. Однако Рузвельт попытался уклониться от этого дела. Уже уходя Сакс получил в качестве утешения от президента приглашение к завтраку на следующее утро.

Войдя к Рузвельту, Сакс увидел его сидящим за завтраком в коляске. Он спросил иронически: «Что за блестящая идея у вас появилась? Сколько времени вам надо, чтобы изложить ее?».

Перед тем как изложить суть письма, Сакс рассказал историю с Фултоном, когда он пришел к Наполеону и предложил паровой флот, с помощью которого его армия, несмотря на неустойчивую погоду, высадился бы в Англии. Корабли без парусов? Это показалось Наполеону невероятным, и он прогнал Фултона. А ведь история Англии могла бы развиваться совершенно иначе. Выслушав Сакса, президент написал на клочке бумаги что-то и передал его слуге, который вскоре вернулся с бутылкой французского коньяка Наполеоновских времен и предложил выпить. После этого Рузвельт вызвал своего атташе генерала Уотсона по прозвищу «Па» и обратился к нему со словами, ставшими впоследствии широко известными:

«Па, это требует действий».

С согласия президента США Ф. Рузвельта работы по созданию атомной бомбы были развернуты и реализованы в Лос-Аламосской лаборатории под руководством Роберта Оппенгеймера.

Ученые уделяли большое внимание экспериментальному оборудованию и измерительной аппаратуре. У Резерфорда проходил стажировку П.Л. Капица, который был его любимцем. После переезда П.Л. Капицы в Ленинград Резерфорд послал ему полный комплект экспериментальной и измерительной аппаратуры для проведения исследований, которую создавал у Резерфорда П.Л. Капица. Атомные исследования с применением измерительной техники проводились в Париже, Кембридже, Риме, Цюрихе и Берлине. С 1932 г. до конца 1938 г. ученые отказывались верить тому, что показывали их измерительные приборы. В области атомных исследований огромное значение имела измерительная аппаратура. Только с ее помощью невидимые глазом физические процессы становились понятными и осязаемыми. Создавались высокочувствительные измерительные приборы, стоимость которых была достаточно высокой. Для реализации задач по созданию новых измерительных приборов и экспериментального оборудования ученые-атомщики обращались за крупными субсидиями к государствам, и те оказывали им финансовую поддержку.

К концу 1945 г. США уже взорвали три атомных бомбы: Аламогордо, Хиросима и Нагасаки.

1.3. Работы по созданию атомной бомбы в СССР

Аналогичные работы проводились в СССР начиная с 1947 г. следующими учеными-атомщиками: Юлий Борисович Харитон, Кирилл Иванович Щелкин, Николай Николаевич Семенов, Абрам Федорович Иоффе, Лев Андреевич Арцемович, Игорь Васильевич Курчатов, Игорь Евгеньевич

Тамм, Андрей Дмитриевич Сахаров, Яков Борисович Зельдович.

Кирилл Иванович Щелкин – один из главных участников и исполнителей «Атомного проекта СССР». Один из великих ученых и конструкторов нашей Родины.

Он был первым заместителем главного конструктора, научным руководителем проекта по созданию ядерного оружия Юлия Борисовича Харитона.

Трижды Герой Социалистического труда; лауреат Ленинской и четырех Государственных премий, член-корреспондент АН СССР.

Он был атомщиком, однако в историю отечественной космонавтики его вклад был настолько велик, что С.П. Королев сказал: «Без идей Щелкина мы не смогли бы опередить американцев».

В стране всего 12 человек знали о всех аспектах создания ядерного оружия – супербомба (26 тонн, длина 8 метров, диаметр 2 метра) РДС (Россия делает сама) «Изделие 202».

В пропуске К. И. Щелкина было записано, что он агент по снабжению Волжского речного пароходства. Правда, по этому пропуску можно было пройти везде (ЦК партии, Правительство, Лубянка). Тогда Арзамас-16 именовался «Приволжская контора Волжского пароходства». Для супербомбы К.И. Щелкин разработал специальную парашютную систему повышенной надежности, которую С.П. Королев применил для своих космических аппаратов, возвращаемых с орбит пилотируемых кораблей. Между С.П. Королевым и К.И. Щелкиным были разногласия. Система управления (СУ) ракеты С.П. Королева была одноканальная, супербомба К.И. Щелкина – двухканальная. К.И. Щелкин заряд на эту ракету не хотел ставить, пока не будет СУ двухканальная. С.П. Королев разбушевался – мол, не дело атомщиков учить ракетчиков, но в дальнейшей работе благодарил К.И. Щелкина за эти требования и СУ создал двухканальную.

Весной 1947 г. на Ю.Б. Харитона и К.И. Щелкина была возложена ответственность за создание атомной бомбы. Все остальные в КБ подчинялись им. Первый заместитель главного конструктора К.И. Щелкин был одновременно начальником научно-исследовательского сектора, в который входило 10 лабораторий, теоретический отдел (возглавляемый Я.Б. Зельдовичем) и все полигоны. Шефом атомного проекта был Лаврентий Берия, который знал о каждом шаге К.И. Щелкина. В Арзамасе-16 у него были осведомители, которые напрямую докладывали «шефу» обо всем. Причем выполняли это гораздо быстрее, чем службы самого КБ. Директор П.М. Зернов узнавал о каком-либо происшествии позже, чем шеф. Шеф «Атомного проекта» относился к К.И. Щелкину с великим уважением, так как он в глаза шефу говорил, что думал, и всегда защищал своих сотрудников. Во время испытания в августе 1949 г. Зернов, Щелкин, два фотографа и дозиметрист на легковой открытой машине поехали в эпицентр взрыва для подготовки подробного отчета.

После душа все сели за обильно уставленный едой стол. Перед каждым стояла бутылка водки. Задача одна – выпить как можно больше. Водкой пытались снизить самую большую опасность пребывания людей в зараженной местности. Участники поездки знали обо всех опасностях. Но радиация все-таки настигала практически всех, кто слишком тесно был связан с ядерным оружием. И.В. Курчатов, Т.М. Зернов, К.И. Щелкин и многие другие ушли из жизни, хотя им не было и 60 лет. Казалось бы все хорошо происходило в нашей стране, но, к сожалению, между ее руководством и некоторыми ядерщиками возник конфликт. К великому сожалению, о нем почти ничего неизвестно. И сегодня государственные архивы тщательно хранят его детали. Главные фигуры в этом противостоянии – Игорь Васильевич Курчатов и Кирилл Иванович Щелкин с одной стороны, а с другой – Никита Сергеевич Хрущев.

Масштабы ядерного безумия, захватывающего СССР и США, глубоко понял и оценил И.А. Курчатов. Он был потрясен последствиями взрыва водородной бомбы. Они, физики, выпустили на волю ядерного дьявола. Курчатов И.В. почувствовал и глубоко понял, насколько опасно это для мировой цивилизации и проживания людей на Земле. Он последовательно и настойчиво говорил о ядерном разоружении, выступал против новых испытаний, доказывал, что создавать супербомбы нет необходимости. Его активно по всем направлениям поддерживал К.И. Щелкин, который ориентировал всех на создание миниатюрного ядерного оружия. Именно таким оно поможет сдерживать любого агрессора, не требуя огромных затрат.

В ракетно-космической отрасли (РКО) ведущая роль в области проектирования, создания, испытаний и эксплуатации изделий РКТ принадлежала радиотелеметрической информационно-измерительной технике (РТИИТ) (датчиково-преобразовательная аппаратура, радиотелеметрические наземные и бортовые информационно-измерительные системы, средства сбора информации, ее обработка, средства предоставления информации специалистам, волоконно-оптические линии связи и программно-математические продукты с вычислительными комплексами и персональными компьютерами).

1.4. Роль Минобщемаша в развитии РТИИТ

Следует особо отметить, что в Минобщемаше в области проектирования и создания РТИИТ для решения государственных задач по созданию ракетно-ядерного щита существенный вклад вложили: С.А. Афанасьев, О.Ф. Антуфьев, Б.В. Бальмонт, Л.И. Безверхий, Ш.И. Боксар, О.Д. Бакланов, В.А. Волков, А.В. Гориш, В.П. Глушко, Г.Я. Гуськов, Н.М. Грибков, В.П. Дунаевский, А.П. Зубов, О.Д. Комиссаров, С.П. Королев, О.П. Краморов, В.П. Макеев, Ю.А. Моз-

жорин, Я.В. Малков, Е.П. Осадчий, А.Е. Ольсевич, А.Е. Панич, В.А. Победоносцев, Н.М. Пушкин, Б.А. Строганов, И.С. Стыщенко, И.И. Уткин, В.Ф. Уткин, О.Н. Шишкин и др.

Для решения сложных государственных задач в ракетно-космической отрасли впервые были созданы:

1. НИИ измерительной техники¹, (НИИИТ) г. Королев Московской области.

2. НИИ физических измерений², (НИИ ФИ) г. Пенза (ранее это был филиал НИИ-88 с 1952 г.).

3. НИИ радиотехнических измерений, г. Харьков (ранее это был филиал НИИ измерительной техники).

4. 11 отраслевых лабораторий в ВУЗах (Москва, Харьков, Королев, С-Петербург, Ворошиловоград, Пенза, Ростов-на-Дону, Красноярск).

5. Государственный метрологический центр при НИИ измерительной техники (это было самостоятельное учреждение), всю информационно-измерительную технику аттестовывали, в нем были созданы уникальные эталонные метрологические стенды, установки, различная аппаратура (около 120 различных типов).

6. Построен лабораторно-производственный корпус (площадью 8 тыс. кв. м) для ОКТБ «Пьезоприбор»³ для задач Минобщемаша в г. Ростов-на-Дону.

7. Были построены пять заводов по освоению и выпуску РТИИТ с годовыми объемами каждого более 100 млн руб. (Киев, Ижевск, Чернигов и Новополоцк). Мелкосерийную РТИИТ выпускали в гг. Королеве, Пензе, Серпухове, Нальчике.

¹ НИИ измерительной техники в 1978 г. был преобразован в научно-производственное объединение измерительной техники (НПО ИТ) в составе трех структурных единиц (гг. Пенза, Харьков, Новополоцк).

² НИИ физических измерений создан в 1976 г.

³ ОКТБ «Пьезоприбор» был создан по инициативе Минобщемаша (Бальмонт Б. В., Горюш А.В.).

8. Крупные серии РТИИТ выпускали на заводах в гг. Краснодаре, Львове, Омске, Ижевске.

9. Для измерения траекторных параметров (по дальности и скоростей по 3 координатам) информационно-измерительные системы «Вега-Плеяды-Аглас» и «Вега-К» изготавливались на пяти заводах Минобщемаша (г. Харьков, Чернигов, Москва, Санкт-Петербург).

10. РТИИТ в микроэлектронном исполнении выпускали четыре завода (Ижевские, Черниговский, Зеленоградский).

11. Были построены в Минобщемаше 19 корпусов по выпуску РТИИТ и другой аппаратуры микроэлектронного исполнения.

Это все было создано по технической документации, разработанной предприятиями Минобщемаша и смежными – Минвуза РСФСР, Минэлектронпрома. Работы проводились под контролем Минобщемаша и им финансировались.

НИИИТ возглавил О.Н. Шишкин – директор и И.И. Уткин – главный конструктор, доктор технических наук. Становление института совпало с широким развертыванием работ по созданию ракетно-ядерного щита страны и освоением космического пространства в интересах обороны и народного хозяйства. Коллективом вновь созданного института был проведен ряд межотраслевых, поисковых, научно-исследовательских работ концептуального направления, выполнение которых позволило разработать и обосновать долговременную программу информационно-измерительного и технического обеспечения ракетных и космических комплексов, учитывающую перспективу их развития на многие десятилетия.

В основу программы был реализован комплексный подход к решению проблемы создания нового поколения измерительных средств с учетом существующих и прогнозируемых достижений научно-технического прогресса в приборостроении, основанный на системном анализе методик, процессов измерений на агрегатах и изделиях, этапов и тех-

нологии их отработки и испытаний, а также изучении условий эксплуатации измерительной аппаратуры и требований по метрологии и надежности для ракетных и ракетно-космических комплексов отрасли.

В результате реализации данной программы были:

- разработаны системы нормативных документов (ГОСТ, ОСТ, СТП, РМ и др.), регламентирующих основы ракетных и космических комплексов; принципы аппаратной реализации, основанные на агрегатировании устройств, критерии разделения функций между ними; требования к составу унифицированных параметрических и функциональных рядов датчиков физических величин, бортовой аппаратуры преобразования, сбора и передачи измерительной информации с борта ракеты, бортовой регистрирующей аппаратуры, телеметрических проводных и радиолиний, наземной приеморегистрирующей аппаратуры, наземной аппаратуры сбора информации с измерительных пунктов, аппаратуры автоматизированной обработки результатов измерений, аппаратуры передачи обработанной информации потребителям по различным каналам связи; унифицированные ряды конструктивов для бортовой и наземной аппаратуры;

- созданы, с высоким уровнем автоматизации проводимых измерений, метрологическая и испытательная базы и на их основе Государственный испытательный метрологический центр (в составе Минобщемаша СССР);

- проанализированы перспективные технологии приборостроения, выбраны и обоснованы принципы комплексной микроминиатюризации аппаратурных решений с широким применением гибридно-пленочных композиций для внутриприборной коммутации и больших интегральных узлов на основе КМОП-структур, обеспечивающих решения функциональных задач;

- обеспечены необходимые темпы широкого внедрения системы автоматизированного проектирования (САПР) и

АСУ НИИ, объединенными в высокопроизводительный вычислительный центр с развитой библиотекой программ.

1.5. Роль НПО измерительной техники в создании и развитии РТИИТ в микроэлектронном исполнении

С начала 1970-х гг. в НИИ измерительной техники начали развивать микроэлектронную технологию. На этой базе удалось значительно улучшить габаритно-весовые показатели бортовой аппаратуры, повысить надежность и поднять на новый уровень технологичность изготовления. Был разработан унифицированный ряд новых бортовых и наземных радиотелеметрических средств, позволяющих, помимо традиционных аналоговых параметров, контролировать и измерять состояние бортовых цифровых систем управления. После освоения в институте гибридно-пленочной технологии и, как результат, выпуска бортовой аппаратуры «Сириус» и в дальнейшем ее модификаций (МБА, СКИФ, СКУТ и др.), радиотелеметрия на основе этих бортовых систем и наземной станции БРС-4 стала единственной, используемой для обработки ракетных комплексов наземного, морского и подвижного базирования.

Разнообразие задач и условий эксплуатации потребовало дифференциации бортовой аппаратуры. Намечались и были реализованы четыре направления:

- для боевых изделий (отличительная черта – все виды информации в совмещенной системе);
- для боевых блоков (малые габаритные размеры);
- для тяжелых носителей (пожаровзрывобезопасность, высокая информированность);
- для космических аппаратов (повышение надежности и ресурс).

Для всех четырех направлений был создан ряд бортовых запоминающихся устройств (в том числе кольцевого типа).

Начиная с 1997 г. масштабные работы велись для телеметрического обеспечения отработки комплекса «Энергия – Буран». Были разработаны и серийно освоены системы АРС, СЗСИ, «Сириус-31-35». На ракете-носителе «Энергия» было установлено шесть комплектов аппаратуры «Кварц», восемь комплектов аппаратуры АРС и пять комплектов аппаратуры «Сириус» – всего 624 бортовых приборов радиотелеметрических систем. При этом удалось решить сложную техническую задачу – совместимость радиосигналов шести передатчиков в ограниченном диапазоне. Формировалась и развивалась и наземная аппаратура. В содружестве с КБ Ижевского мотозавода были разработаны и освоены серийно приеморегулирующие станции ПРА и ПРА-МК, системы ретрансляции сигналов, аппаратура оперативной обработки, устройства автовыбора разнесенных сигналов, ряд антенных комплексов и др. Проводились значительные теоретические разработки в области радиолиний магнитной записи и первичных преобразователей.

Одновременно с ракетной радиотелеметрией развивались и другие направления:

- аппаратура С305, С330 для передачи информации через спутниковые системы связи;
- высокоинформативные магнитные регистраторы;
- системы документирования цифровой информации на боевых кораблях ВМФ;
- автономные регистраторы («черные ящики») спасаемых космических аппаратов и головных частей боевых блоков ракет.

В результате была обеспечена отработка практически всех образцов ракетно-космической техники, разрабатываемых в СССР.

Работы «НПО измерительная техника» в области создания специальной ИИТ были удостоены Государственной премии СССР.

Сергей Александрович Афанасьев организовал формирование и создание РКО, которая обеспечила становление ракетно-космической отрасли. За годы его руководства родилась «школа С.А. Афанасьева». Ему принадлежит заслуга и важная роль в создании как РТИИТ, так и ракетно-ядерного щита нашей Родины, планирование, подготовка и обеспечение пилотируемых программ космических полетов, создание первых орбитальных станций.

1.6. Роль первого министра ракетно-космической отрасли в создании и развитии микроэлектроники

Прежде всего отметим, что в начале века в мире развиваются III и IV уклады технологического прогресса.

Локомотивными отраслями является тяжелое машиностроение, металлургия, большая химия, производство автомобилей, самолетов, танки. Истинный смысл сталинских пятилеток состоит в освоении возможностей IV уклада. Вложив сверхусилия, наш народ решил эту задачу. Это позволило выстоять в Великой Отечественной войне, превратить СССР в сверхдержаву.

Россия, втянувшись в бесплодные, разрушительные реформы, упустила возможности, предоставленные V укладом технологического прогресса, локомотивными отраслями которого были РТИИТ, компьютеры, электроника, Интернет, телекоммуникации, малотоннажная химия. На основе V уклада, стали успешно развиваться и реализовывать свои возможности Япония, США и Южная Корея. Однако два направления в нашей стране в рамках V уклада, руководимые С.А. Афанасьевым, были реализованы – это РТИИТ и электроника. Причем, электроника обеспечивала миниатюризацию РТИИТ, устанавливаемой на борты изделий РКТ. Задача миниатюризации была решена с помощью микроэлектронной технологии. Первым шагом в освоении новых технологий V уклада стала разработка телеметрической системы на

основе микроэлектронной элементной базы с освоением гибридно-пленочной технологии. Были реализованы новые технологии по созданию полупроводниковых датчиков, а также было выбрано и реализовано определяющее направление КМОП-транзисторная логика (комплементарные металл-окисел-полупроводниковые транзисторы).

КМОП – технология явилась в рамках V укладка одной из определяющих как для ракетно-космического приборостроения, так и для вычислительной техники во всем мире. Была реализована новая технология безкорпусной элементной базы проектирования и создания информационно-измерительных приборов. Основными конструкторско-технологическими звеньями были узлы электронного полупроводникового (УЭП) и печатные платы. Технологическое представление любого УЭП характеризуется большим количеством элементов, сложностью связей между ними и многослойностью, что исключает ручное выполнение этих работ.

Кроме того, технологические средства, на которых производится изготовление шаблонов (масок), требуют программного управления. Процесс изготовления УЭП весьма трудоемок, для некоторых технологий он составляет от нескольких недель до нескольких месяцев. Поэтому очень важно исключить вероятные ошибки до начала изготовления фотошаблонов путем моделирования электрической и топологической схем УЭП. Таким образом, процесс создания УЭП требует широкого применения вычислительной техники и сложного программного обеспечения, т.е. применения систем автоматизированного проектирования (САПР), которые были реализованы.

В то время как к фотошаблонам большинства печатных плат не предъявляется высоких требований по точности, технологический процесс изготовления УЭП требует высокоточных фотошаблонов и связан с использованием дорогостоящих материалов, химических процессов и сложного пре-

ционного оборудования. Это является определяющим в разделении организации работ и производства составляющих элементов и прибора в целом.

Благодаря высококвалифицированным специалистам ОАО «НПО ИТ» в области микроэлектроники была организована четкая и единая идеология в разработке УЭП от этапа контроля электрических схем до этапа получения рабочих фотошаблонов и упорядочена организация по проектированию БИС на предприятии. Положительным фактором явилось и то, что в институте была единая технологическая структура, так как твердотельная микроэлектроника в отрыве от технологии не может развиваться и совершенствоваться. Между топологией и технологией полупроводниковых схем нельзя провести четкого разграничения.

В ОАО «НПО ИТ» освоена КМОП-технология с проектными нормами до трех микрон с самосовмещенными поликремниевыми затворами, что обеспечило поднятие рабочей частоты до 15 МГц. При этом сохранены все предыдущие технологии, что позволило выпускать широкую номенклатуру УЭП.

Освоены и применяются САПР на современных вычислительных средствах, позволяющих проводить моделирование, проверку проектных норм, верификацию топологии УЭП, а также реализована КМОП-технология изготовления УЭП и датчиковых элементов на структурах SOI (кремний на изоляторе).

В институте создан высокотехнологичный интеллектуальный задел:

- топологии интегральных схем для изготовления узлов электронных полупроводниковых по КМОП-технологии;
- микросхематические решения для аналоговых и цифровых КМОП-элементов, подтвержденные авторскими свидетельствами и патентами.

За этот промежуток времени решены и реализованы в рамках V уклада следующие микроэлектронно-технологические задачи:

- полупроводниковая микроэлектроника;
- гибридно-пленочная и функциональная электроника;
- технологическое оснащение ракетно-космического приборостроения;
- сформированы и выпущены комплексные программы по технологиям приборостроения РТИИТ;
- созданы и развиты производственная и технологическая базы как в институте, так и на серийных заводах, обеспечивающих поставки серийных образцов РТИИТ.

На экспериментальном производстве института и на заводах ракетно-космической отрасли были освоены и серийно выпускались РТИИТ микроэлектронного исполнения датчиково-преобразовательные приборы: «Спутник», «Кварц», «Мустанг», «Микрон», «Скиф», «Тюльпан», «Девиз», «Скут», «Феникс», «Диор», «Ника», «Ротор», «Трит», БСВК.

Создание, становление и решение задач в Минобщемаше в рамках V уклада в части технологического направления отрасли обеспечивали: В.И. Язовцев, К.В. Егоров, Ю.Д. Ивасенко, В.М. Школьников, А.И. Сухов, А.И. Черный, Н.К. Гаврилов, Н.П. Нефедкин, А.Е. Сычев, Т.Г. Крутских, Л.М. Аркадьева, З.М. Поварницына, А.В. Воронежский, В.Р. Суминов, Ю.В. Осипов, Л.А. Виноградова, Е.В. Усова, В.Н. Богомолов, К.П. Липатова, Л.М. Муленко, Л.Б. Якушина, А.В. Шиловский, О.Н. Шишкин, О.А. Сулимов, В.С. Нестеренков, С.И. Юношев, С.В. Девляшов, Т.Н. Челнокова, Т.Н. Голикова, И.И. Ковтун, Г.П. Марьина, Е.А. Слободжанова, Т.А. Серебрякова, В.Н. Богатырев, О.А. Хатькова, Г.М. Прокофьев, Л.В. Тюрина, Л.В. Золотухина, Г.В. Додонова, Б.Г. Осипов, А.В. Сергеева, Н.А. Завьялова, Л.В. Грушкина, О.Ю. Чарикова, К.Г. Мелик-Парсадян, А.А. Родионов, В.В. Хартин и многие другие специалисты института.

Координацию работ в области микроэлектронной, полупроводниковой, гибридно-пленочной и функциональной электроники выполняли С.А. Афанасьев, О.Л. Бакаланов, О.Ф. Антуфьев, А.В. Гориш, А.Е. Шестаков, В.Х. Демтиров, А.П. Зубов, В.Е. Соколов, С.И. Юношев.

Таким образом, реализацию V уклада в СССР обеспечил министр Минобщемаша СССР – Сергей Александрович Афанасьев. Решив задачу V уклада, С.А.Афанасьеву удалось превратить СССР в сверхдержаву [8]. Но другие отрасли, к сожалению, с V укладом не справились.

Сегодня Россия должна решить задачи исторического масштаба. Не имея промышленности, соответствующей V укладу, решить задачи VI уклада. Его локомотивом являются:

- биотехнологии, биоинформатика, экспериментальная биология и охрана окружающей среды: новая медицина (медицинская генетика, фармакология, создание новых лекарственных препаратов), медицинское приборостроение (современные инженерные микротехнологии, реализация ультразвуковых технологий, информационно-измерительные технологии для телемедицины, контрольно-измерительная аппаратура для неспецифического восстановления здоровья);

- пьезоэлектрическое приборостроение;

- нанотехнологии, новые материалы на основе нанотехнологий, нанобиология и наномедицина;

- новое природопользование, полномасштабные технологии виртуальной реальности;

- когнитивные технологии.

В настоящее время генеральное развитие мировой науки завтрашнего дня будет определять комплекс из четырех главных направлений: био-, нано-, инфо- и когнитивных технологий. Ядром решения комплексных многофункциональных задач в рамках VI является когнитивная наука.

Литература

1. *Брюханов В.А.* Методы повышения точности измерений в промышленности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 108 с.
2. ГОСТ 8.563-96 ГСОЕИ. Методики выполнения измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
3. *Мальков Н.Ф.* Основы метрологии. – М.: Коммерприбор, 1949. – 327 с.
4. *Мурашкина Т.И., Мышева М.М., Волков В.В.* Теория измерений: учебно-методическая разработка. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2001. – 43 с.
5. *Пистровский Я.* Теория измерений для инженеров / Пер. с польск. – М.: Мир, 1989.
6. *Сергеев А.Г., Крохин В.В.* Метрология: учеб. пособие для вузов. – М.: Логос, 2000. – 408 с.
7. *Мурашкина Т.И., Мецзяков В.А., Бадева Е.А.* Теория измерений. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2003. – 170 с.
8. *Малинецкий Г.Г.* Модернизация России и проектирование будущего // Материалы конференции XII Международного форума «Высокие технологии XXI века». – М.: Изд-во ЛКИ, 2011. – 528 с.

II. ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РКТ

*А.В. Горюш, Д.В. Панов, С.А. Пономарев,
В.А. Победоносцев, И.С. Рубцов*

Использование системного подхода при проектировании сложных телеметрических информационно-измерительных систем (ТИИС) и решении возникающих проблем начинается с составления рабочего плана (сетевого графика). Практика показывает, что составление рабочего плана происходит в результате итерационного процесса, в который вовлечены органы управления трех уровней:

- орган управления, составляющий план (средний уровень иерархии);
- старший по отношению к нему орган управления, ставящий задачу;
- подчиненные органы управления.

Системный подход, характерный для системных исследований, означает стремление изучить проблему с учетом максимального числа внутренних связей и внешних факторов с целью увеличения эффективности «системы».

Для этого используется совокупность методических средств подготовки и обоснования решений в виде планов решения проблемы. При этом происходит построение обобщенной модели, отображающей детали проблемной ситуации, выявляется многообразие типов связей в ней и осуществляется сведение их в единую структурированную картину – систему взаимосвязанных решений в виде плана.

В зависимости от длительности интервалов времени различают краткосрочное, среднесрочное и долгосрочное планирование. Долгосрочное планирование помимо демонстрационной функции подготавливает систему исходных

данных для среднесрочного планирования, а последнее в свою очередь создает системную базу для краткосрочного планирования.

Для реализации этого подхода в системных исследованиях различных проблем как в области ракетно-космической деятельности, так и в других областях прикладных наук, технологии производства используется широкий арсенал методических приемов, в максимальной степени реализующих принципы системного подхода в организации и выполнении намеченных исследований. При этом практическая реализация принципов системного подхода к планированию и осуществлению системных исследований в сфере ракетно-космической деятельности включает высшие уровни властных иерархических структур, задающих направление ракетно-космической деятельности и методы ее реализации в виде регламентирующих документов и законодательных актов. Тем самым реализуются системные механизмы программно-целевого подхода в наиболее полном виде, так как процесс формирования задач, целей и средств их достижения опирается на максимально всестороннее, априори достижимое изучение и согласование будущих потребностей в достоверных результатах и ожидаемых возможностях получения этих результатов.

Системы телеизмерений относятся к типу многофункциональных сложных систем. Сам термин «система телеизмерений» в практическом обиходе не однозначен. Под «системой телеизмерений» понимают: аппаратные средства конкретной системы телеизмерений (например, РТС-9Ц, БРС-4), бортовые аппаратные средства конкретной системы телеизмерений (например, система БИТС2-12 системы РТС-9Ц или система «Сириус» БРС-4), комплекс бортовой аппаратуры конкретной ступени ракеты космического назначения (РКН) вместе с бортовыми информационно-измерительными датчиками, преобразователями и бортовой кабельной сетью

(БКС). Общим признаком каждой «системы» является наличие единой функционирующей электрической схемы.

Датой рождения отечественной ракетной (ставшей впоследствии ракетно-космической) отрасли промышленности является 13 мая 1946 г. – день принятия Советом Министров СССР Постановления № 1017-419 «О развитии в стране реактивного вооружения».

Приказом Министра вооружения Д.Ф. Устинова от 16 мая 1946 г. на базе артиллерийского завода № 88 был создан Государственный научно-исследовательский институт 88 (НИИ-88), который стал головной научно-исследовательской, проектно-конструкторской, производственно-технологической и опытно-конструкторской базой по реактивному вооружению. Этот институт существует по настоящее время, но имеет другое наименование – Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИ-МАШ) Роскосмоса.

Были созданы также другие предприятия по основным направлениям ракетной техники во главе с главными конструкторами: В.П. Глушко (ракетные двигатели, ОКБ-456), В.П. Барминым (стартовые сооружения и системы, ГСКБ «Спецмаш»), М.С. Рязанским (радиосистемы, НИИ-885), В.И. Кузнецовым (гироскопические устройства, НИИ 944), Н.А. Пилюгиным (в 1946–1963 гг. – главный конструктор автономных систем управления баллистических ракет НИИ-885, после 1963 г. – директор и главный конструктор НИИ-АП, выделившееся из НИИ-885). Эта «шестерка главных конструкторов» вошла в состав первого Совета главных конструкторов, председателем которого был С.П. Королев – главный конструктор баллистических ракет.

Для обеспечения задач создания образцов РТ в НИИ-88 17 декабря 1953 г. был организован отдел контрольно-измерительной техники (отдел № 20), который в дальнейшем обусловил развитие отечественной информационно-измерительной техники (датчикопреобразующая аппаратура, радио-

телеметрические системы, комплексы бортовых и наземных телеметрических измерений и др.).

В НИИ-88/ЦНИИМАШ с конца 50-х годов прошлого века по настоящее время был разработан ряд необходимых последовательно сменявших друг друга руководящих документов, регламентирующих порядок проведения разработок с точки зрения «системного подхода» (Положения ЗКА, РК-75, РК-98, РК-11). Разработанные документы регламентировали этапность проведения разработок и испытаний образцов изделий ракетно-космической техники и узлов этих изделий.

До появления специальности «Системное проектирование» и кафедр учебных ВУЗов, содержащих упомянутое словосочетание в своем наименовании, было принято говорить о «комплексном подходе» к проведению разработок.

Естественно, что каждый конкретный тип «сложной системы» несет на себе техническую специфику, а «техническая эффективность» и даже «технико-экономическая эффективность» каждой конкретной «сложной системы» и отдельные технические характеристики «сложной системы» могут оцениваться специфическими «показателями эффективности».

Основоположником комплексного подхода к проведению разработок устройств и систем телеизмерений является И.И. Уткин – начальник отдела 20, затем – начальник пятого комплекса (который вырос из отдела 20) и главный конструктор НИИ-88, организатор создания НИИ измерительной техники (НИИИТ) и первый главный конструктор НИИИТ.

В пятом комплексе НИИ-88 под руководством И.И. Уткина развивались все основные направления, в которых разрабатывались системы и составляющие элементы, используемые в «комплексе средств телеизмерений»: собственно разработка бортовых и наземных систем телеизмерений, бортовые датчики и преобразователи, аппаратные и программные средства обработки всех видов телеметрической и траек-

торной информации, методическое обеспечение разработки программ телеизмерений и др.

На других предприятиях (СКБ-567, ОКБ МЭИ) до начала XXI века ограничивались разработкой систем телеизмерений медленно-изменяющихся параметров (ММП). Разработка аппаратных бортовых и наземных средств измерений и обработки быстропеременных процессов (БМП) – разработка спектр-анализаторов и средств корреляционного анализа – длительное время развивалось только в НИИ-88, а в дальнейшем – только в-НИИИТе.

В недрах НИИ-88 – НПО ИТ разрабатывались средства обработки телеметрической информации (системы «Старт» и системы обработки с использованием универсальных электронных вычислительных машин – ЭВМ). Именно в этих системах обработки данных телеизмерений, получаемых при испытаниях ракетной техники, был впервые осуществлен переход от ввода данных в ЭВМ не через перфокарты, а «по проводам», что теперь является нормой для каждого персонального компьютера.

В процессе развития ракетно-космической отрасли к процессу разработки отдельных направлений создания информационно-измерительных средств, используемых при испытаниях ракетной техники, подключались новые предприятия.

С начала развития отечественной ракетной техники (РТ) задачи при создании каждого нового комплекса РКТ выяснялось, что существующие на данный момент времени ТИИС не удовлетворяют разработчиков создаваемых новых образцов РКТ. Перед разработчиками каждого нового образца РКТ возникала задача выбора и комплексирования унифицированных радиотелеметрических средств применительно к задачам испытаний этого нового изделия. Оказывалось, что существующие измерительные средства не удовлетворяют возросшим техническим требованиям (применительно к проведению испытаний нового изделия РКТ) по объему

ТИИС, по скорости передачи данных, по габаритам бортовой и наземной аппаратуры и т.д. В связи с этим возникла задача модернизации существующих или создания новых ТИИС с улучшенными тактико-техническими характеристиками.

Разработка каждого нового типа ракетной техники осуществлялась по техническим заданиям (ТЗ) Минобороны, то есть за счет средств бюджета, выделяемых на Гособоронзаказ.

Не будем останавливаться на сходстве и отличиях проведения разработок до и после 1991 г., в том числе в «промежуточные годы» – от 1991 по 2000 г. Отметим только, что в Постановлении Правительства устанавливается головная организация – разработчик «головного изделия» и указываются сроки завершения разработки, испытаний и сдачи в эксплуатацию. Если работа выполняется в значительной степени инициативно, т.е. без Постановления Правительства, то эта работа может осуществляться за счет внутренних резервов или путем использования результатов разработок, выполняемых по коммерческим договорам, в том числе по международным договорам

Так или иначе, но началу разработки технической документации предшествуют разработка и согласование головного технического задания, определение облика и состава («схемы деления» в соответствии с ГОСТ) «головного изделия», выбор кооперации и разработки технических заданий на входящие системы.

2.1. Основные задачи, решаемые телеметрическими информационно-измерительными системами (ТИИС)

В.А. Победоносцев

Первое – на этапе летных испытаний определить соответствие полученных технических характеристик изделия (дальность, точность, надежность, вес и др.) требованиям исходного технического задания.

Второе – на этапе летных испытаний быстро определить причины аварийных испытаний (если таковое имеет место) и быстро их устранить, разработав планы реализации аварии.

На этапе штатной эксплуатации – контролировать стабильность производства, подтверждать заданные требования надежности.

Телеметрия штатно устанавливается на всех типах ракет космического назначения (РКН), КА различного назначения и КС. Данные телеметрии, как сигналы обратной связи, используются при принятии решений и в процессах управления многими процессами.

ТГИИС, применяемые при испытаниях отечественных баллистических ракет, представлены в табл. 1.

Таблица иллюстрирует по мере развития и усложнения изделий ракетной техники увеличение информативности ТГИИС и тенденцию к использованию систем «совмещенного» типа (позволяющих передавать данные всех бортовых измерений по одному радиоканалу), а также тенденцию перехода от аналогового и аналого-цифрового радиоканала к использованию чисто «цифрового» радиоканала

В настоящее время (начало 2013 г.) на повестке дня стоит задача создания цифрового радиоканала радиотелеметрической системы со скоростью передачи данных до 20 Мбит/с.

2.2. Наземные средства полигонного измерительного комплекса (ПИК) и тенденции их развития

В.А. Победоносцев

Данные бортовых радиотелеметрических измерений можно разбить на три группы: медленно-изменяющиеся параметры, быстропеременные параметры (параметры виброизмерений, акустические воздействия, удары и др.), парамет-

ры бортового цифрового вычислительного комплекса бортовой системы управления (БЦВК СУ). В свою очередь параметры БЦВК СУ можно разделить на три группы: входные параметры БЦВК СУ, промежуточные параметры (промежуточные параметры работы вычислительных алгоритмов), выходные команды (команды, подаваемые на исполнительные органы управления – рулевые машины, поворотные сопла, команды на включение и выключение двигателей и др.).

Структура наземных средств ПИК в определенном смысле является отражением измерительных средств, размещенных на ракете или на космическом корабле с той особенностью, что все наземные приемо-регистрационные средства, кроме приемных антенн, дублируются.

Каждый ракетный полигон (космодром) имеет свой полигонно-измерительный комплекс (ПИК). В состав ПИК полигона входят пристартовые и трассовые измерительные пункты (ИПы). В отдельных случаях для обеспечения измерений, при пусках ракет с одного полигона к измерениям могут привлекаться ИПы, относящиеся к ПИК другого полигона, но расположенного по трассе пуск.

На трассовых ИПах размещаются наземные приемо-регистрационные средства радиотелеметрических систем, бортовые средства которых устанавливаются на ракете. В 1970–1988 гг. это были средства системы БРС-4 ПРА-МК. Этими средствами был оснащен ПИК космодрома «Байконур» в обеспечение испытаний ракеты космического назначения «Энергия». Те же средства пристартовых и трассовых ИПов использовались при проведении пусков РКН «Зенит» и МБР УТТХ («Сатана», «Воевода»), УТТХ и др.

Для управления космическими аппаратами используются средства, развернутые на наземных измерительных пунктах (НИП) наземного комплекса управления (НАКУ) космическими аппаратами.

2.3. Средства и алгоритмы анализа, обработки и представления данных телеизмерений, математическое обеспечение

В.А. Победоносцев

Бортовые радиотелеметрические средства делятся на три группы: медленно-изменяющиеся параметры (результаты температурных измерений; результаты измерения давления, уровня, перемещений, расхода и др.), быстропеременные параметры (параметры виброизмерений, акустические воздействия, удары и др.), параметры бортового цифрового вычислительного комплекса бортовой системы управления (БЦВК СУ).

Следует отметить особенности, характеризующие процессы обработки и анализа информационно-измерительных телеметрических данных.

1. При обработке вибрационных параметров неизменной остается основная методика – проведение спектрального и корреляционного анализа поведения параметров, выделение резонансных частот и др. На этапе ЛКИ нового изделия РТ относительное количество измеряемых параметров вибрационного типа велико относительно общего объема измерений. После четырех-пяти первых пусков объем виброизмерений резко сокращается. Методически более правильно использовать тщательную стендовую (дополетную) отработку двигательной силовой установки. Понятно, что создание и оснащение стендов и стендовые испытания – дорогостоящие времязатратные мероприятия.

2. При автоматизации процессов обработки и наличии результатов спектральной и корреляционной обработки «потребителя» радиотелеметрической информации интересует «первичное поведение параметра».

2.4. Использование спутников ретрансляторов (СР) при проведении испытаний

В.А. Победоносцев

Идее использования спутника – ретранслятора (СР) для передачи данных телеметрических измерений при испытаниях баллистических ракет (БР), крылатых ракет (КР) и разгонных блоков (РБ) ракет космического назначения (РКН), космических аппаратов (КА), космических станций (КС) – не один десяток лет.

Однако, отсутствие реального опыта использования СР с программным наведением антенн не позволяет однозначно оценить потерю телеметрической информации в случае аварийных исходов испытаний.

В связи с этим при различного вида испытаниях изделий ракетной техники (РТ) и традиционно использовали метод дублирования и метод «парирования» возможных аварийных исходов испытаний (использования дублирующих приемных станций, использование бортовых запоминающих устройств (ЗУ) различных типов, в том числе «спасаемых» ЗУ; использование методов разнесенного приема, использование самолетных измерительных пунктов и др.).

В ноябре 2012 г. Роскосмосом был объявлен конкурс (тендер) на право разработки аппаратуры активной ретрансляции (ААР) СР «Луч». На конкурс были поданы документы тремя предприятиями. Конкурсная комиссия отдала предпочтение материалам ОАО «НИИ КП», имевшем наибольший опыт разработки радиопередающих устройств.

2.5. Основные показатели сравнимости радиотелеметрических систем

А.В. Горюш, В.А. Победоносцев

При разработке любых новых средств, не только ТИИС, «параметр» «эффективность» в ТЗ не используется. В ТЗ вносятся технические требования, которые можно затем проверить – подтвердить экспериментально.

Идеальным является «сравнение» при прочих равных условиях. Однако в реальной жизни «прочие равные условия», как правило, отсутствуют.

Задача «сравнения и выбора» возникает не только при разработке изделий РКТ. Аналогичные по постановке задачи существуют при «выборе» победителя.

Системный подход предполагает овладение методикой сравнения и выбора по многим критериям одновременно.

Оценка эффективности подразумевает **сравнение** нового продукта с прототипом или с «эталонным» продуктом, используя выбранные «критерии сравнения». Общепринятым примером использования в качестве единичного критерия «эффективность» является коэффициент полезного действия как отношение «полезной мощности» к «затрачиваемой мощности», т.е. «подводимой извне». Другим примером «эффективности» в радиотехнике и радиоканале радиотелеметрии является критерий «помехоустойчивость метода модуляции», при этом в качестве «эталона» используется метод модуляции фазовой манипуляции ФМ-2, обладающий максимальной помехоустойчивостью.

Однако использование «единичных» критериев принятия решения о выборе не является оптимальным (дающим наибольший выигрыш) по причине проявления известного «закона сохранения»: достижение увеличения оптимальности одного критерия приводит к ухудшению другого.

Кроме того, «сравнение» будет корректным «при прочих равных условиях» или приблизительно равных (условиях).

В КБ Туполева действовал негласный «принцип Туполева»: при разработке каждого нового изделия вносить в конструкцию ограниченное количество «новаций». Ведь первый вопрос, который возникает при разборе причин аварии: а что нового было внесено в испытанную ранее конструкцию по сравнению с прототипом? С другой стороны, новации вносятся «не от хорошей жизни», а из благих намерений улучшить тактико-технические требования «по сравнению с прототипом».

В качестве исторических примеров можно привести результаты испытаний тяжелых ракет Н-1 (шесть пусков – все неудачные) и «Энергия» с использованием новых двигателей с компонентами пожаровзрывоопасного топлива «водород – кислород» (два пуска – оба удачные).

Таким образом, введение количества новаций в конструкцию и определение необходимого объема наземных стендовых испытаний – это вопрос системного подхода к проектированию.

2.6. Трудности сравнения и классификации систем по эффективности

В.А. Победоносцев

Эти трудности давно известны, точно так же как давно бытует заблуждение, состоящее в том, что одним набором «повторяющихся» модулей можно обеспечить измерения при испытаниях всех мыслимых изделий РТ.

На самом деле имеются требования (например) к системам бортовой телеметрии, которые можно отнести только к определенной группе (классу) изделий и которые являются ненужными (избыточными) для других групп.

В частности, требование пожаровзрывобезопасности (ПВБ) является обязательным только для изделий РТ с кислородно-водородными двигателями. Требование передачи большого объема данных виброизмерений крайне необходимо при испытаниях первых образцов новых ракет и в гораздо меньшей степени при эксплуатации космических аппаратов (КА). Требования по уровню механических перегрузок являются гораздо более жесткими для бортовых аппаратных средств ракет, чем для бортовой телеметрии КА. Требования по допустимой погрешности измерений существенно отличаются друг от друга – для вибрационных измерений, для параметров «обычных» медленно-изменяющихся параметров, для измерения температур.

Для сравнения каналов передачи данных БЦВК используется параметр «достоверность» (относительное значение искажений символов «0» и «1», а не «погрешность измерения»). Точно так же затруднительно нахождение «общего» критерия сравнения систем с аналоговым радиоканалом («погрешность») и систем с цифровым способом передачи данных («достоверность»).

Иной раз, если выбор не является вынужденным, глубоко ошибочен выбор систем только по одному критерию сравнения (показателю эффективности).

2.7. Примеры вынужденного выбора по одному показателю и другие вынужденные отступления от оптимальности принимаемых решений

В.А. Победоносцев

В качестве таких примеров можно привести:

– ограничение по наличным финансовым и людским ресурсам (ресурсы имеются, средства для их освоения отсутствуют или финансы имеются, доступных ресурсов нет);

– ограничение по времени выполнения работ (ограничения, устанавливаемые директивными Постановлениями Правительства или диктуемые политической обстановкой, или астрономическими сроками);

– ограничение по допустимым габаритам бортовой аппаратуры, диктуемым конструкцией основного изделия;

– необходимость выполнения жестких требований по искропожаровзрывобезопасности во взрывоопасной окружающей среде;

– выбор по показателю максимальной скорости передачи данных. Необходимость обеспечения требований по передаче объема измерений при испытаниях принципиального нового изделия РКТ (11А52, 11А25, 3М30 и др.).

Ограничения, вызванные отсутствием «научного задела», включают:

– технологические ограничения;

– неопределенность постановки задачи;

– личные предпочтения и другие субъективные факторы (в том числе наличие скрытой коррупционной составляющей) и т.д.

Примером постановки конкретной задачи оптимального выбора по ряду технических показателей является задача выбора метода модуляции в радиолинии радиотелеметрической системы, когда необходимо, чтобы средства радиолинии одновременно удовлетворяли нескольким требованиям:

- требованию максимальной помехоустойчивости,
- требованию максимума КПД передатчика,
- требованию минимума ширины излучаемого спектра и уровня внеполосных излучений в «дальней» зоне (т.е., конкретным требованиям электромагнитной совместимости),
- выполнение требований международных стандартов по этим показателям.

**Типы радиотелеметрических систем, используемых
при испытаниях новых типов отечественных
баллистических ракет в 1947–2011 гг.**

Радиотелеметрические системы и тенденции к применению систем «совмещенного» типа (позволяющих передавать данные всех бортовых измерений по одному радиоканалу), а также тенденция перехода от аналогового и аналого-цифрового радиоканала к использованию чисто «цифрового» радиоканала представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№ п.п.	Радиотелеметрическая система	Год проведения ЛИ	Изделия, на которых проведены ЛИ	Аналоговая, совмещенная или цифровая, информативность
1	«Мессина-1» (немецкая)	1943	ФАУ-2	Аналоговая, медленнотеменяющиеся параметры (ММП) (формирование ТЗ – 1941 г.)
2	«Бразилионит» (усовершенствованная копия «Мессины-1» на элементах отечественного изготовления)	1947	Р-1	Аналоговая, ММП
3	СТК-1 («Дон»)	1950	Р -1/Р2	Аналоговая, ММП
4	«Трал»	1956	Р-5	Аналоговая, ММП
	«Трал-К»	1956	Р-7	Цифровая, Ммп
5	РТС-5	1956		Аналоговая, быстроменяющиеся параметры (БМП)
6	РТС-9ВИМ	–	–	Аналоговая, ММП

Окончание табл. 2.1

№ п.п.	Радиотелеметрическая система	Год проведения ЛИ	Изделия, на которых проведены ЛИ	Аналоговая, совмещенная или цифровая, информативность
7	РТС-9Ц	–	–	Цифровая, ММП
8	БРС-1/БРС-2	1956	Р-7	Аналоговая, БМП
9	БРС-4 Основные модификации бортовой аппаратуры: ИС-1162, «Сириус», «Скиф», МБА, «ОКА», СКУТ, КВАРЦ	1966-1967	8К64, 8К99 (см. таблицу 2)	Совмещенная (аналого-цифровая), ММП и БМП
10	Орбита-1,57	1967	8К99, 11А52 (Н-1)	Цифровая, ММП, БМП – в ограниченном количестве
11	Орбита-3,14	2005	Тополь-М, ЗМ30	Совмещенная цифровая, совмещенная (ММП и БМП)

Основные изделия РКТ, летные испытания которых были обеспечены в 1966–2004 гг. средствами совмещенной системы БРС-4 разработки НИИИТ – НПО ИТ, представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

№ п.п.	Наименование изделий РКТ	Сроки проведения ЛКИ, год	Совмещенная бортовая радиотелеметрическая БРС-4	Примечание
1	КА 11Ф615 и 11Ф732 (Союз, Зонд-6 и Зонд-7)	с 1966 1968, 1969	МИР-3 А2 (с одновременным размещением на КА радиотелеметрии РТС разработ. НИИП)	Регистрация информации в условиях отсутствия связи на ПУТ (блок ИС-1162)

Продолжение табл. 2.2

№ п.п.	Наименование изделий РКТ	Сроки проведения ЛКИ, год	Совмещенная бортовая радиотелеметрическая БРС-4	Примечание
2	8К64, 8К99 (после проведения ЛИ 8К99: А350Ж, 5Я26 и др.)	1967-1969	ИС-1162 БРС-4	ЛКИ 8К99 и второй этап проведения ЛКИ совмещенной системы БРС-4
3	15А20 (УР-100К), 15А20У (УР-100У)	1969-1971 1971-1973	ИС1162 А6 БРС-4 «Сириус»	На 15А20 измерение ММП первых РГЧ кассетного типа 15Ф201 и 15Ф305
4	15Ж42 «Темп-2С» (с РДТТ)	1972-1974	«Сириус»	Все измерения, первое применение в БРС-4 бортового ЗУ, контроль БЦВК
5	15Ж45, 15Ж53 «Пионер»	1974-1976	«Сириус»	–
6	15А14 Р-36М (Satan), 15А18, 15А18М	1972-1979	«Сириус», «Скиф», «Планета»	Зачет ЛКИ «Сириус» по результатам ЛКИ 15А14 Первое применение бортового ЗУ, контроль БЦВК СУ
7	15А15 МР-УР 100 15А16	1972-1974 1977-1979	«Сириус» «Сириус»	–
8	15А30 УР-100Н, 15А35	1977-1979 1977-1979	«Сириус» «Сириус»	–

Окончание табл. 2.2

№ п.п.	Наименование изделий РКТ	Сроки проведения ЛКИ, год	Совмещенная бортовая радиотелеметрическая БРС-4	Примечание
9	15Ж44, 15Ж52 РТ-23, 15Ж62, 15Ж60, 15Ж61	1986- 1988 1985- 1987	«Сириус», «Скиф» «Сириус», «Скиф»	БЖРК «Молодец»
10	15Ж58 Тополь	1983- 1988	«Сириус», МБА	–
11	Тополь – М РС-12М2 (первый запуск МБР 20 декабря 1994 г.)	1994- 2000	«СКУТ», с 1996 г. изгото- вления ЭП НПО ИТ	До 1996 г. про- изводство ос- воено на заводе в Новополюцке
12	3М17	1972- 1974	«Сириус»	Твердотоплив- ная
13	3М40	1973- 1997	«Сириус», МБА-07, ОКА-АВГ	Указано начало и завершение работ*
14	3М65	1973- 1983	«Сириус», МБА	См.*
15	3М37 «Синева»	1979 1986 2004	«Сириус», МБА СКУТ	Жидкостная, См.*
16	11К77 Зенит	1979- 1982	«Сириус»	На этапе ЛИ 5 комплектов «Сириус»
17	11А25 Энергия (Постановление от 17.02.76 №132-51)	1987- 1988 (пуски)	«Кварц», «Сириус», АРС	Два пуска: 15.05.87, 15.11.88

* «Кварц», МБА, «Скиф», ОКА – модификации «Сириус»; МИР-3, Планета, АРС – системы со спасаемыми запоминающими устройствами (ЗУ).

Литература

1. *Гориш А.В., Калинин Ю.М., Галантерник Ю.М., Милов Ю.Г., Гришин В.М.* Проектирование помехозащищенных командно-измерительных систем космических аппаратов: учеб. пособие по кафедре «Информационно-измерительные системы». – М.: Академия оборонных отраслей промышленности, 1999. – 455 с.
2. *Асланов М.А., Кузнецов В.В., Макаров Ю.Н., Мальчевский А.А., Шатраков А.Ю.* Системный анализ и принятие решений в деятельности учреждений реального сектора экономики, связи и транспорта. – М.: ЗАО «Экономика», 2010. – 406 с.
3. Научно-технические, технологические и практические основы конструирования датчиковой аппаратуры для измерения физических величин. Т. 1. Датчиковая аппаратура давлений: монография/ Под. общ. ред. А.Н. Перминова. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 579 с.
4. *Воронцов В.Л.* Методы разнесенного приема телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома. – М.: Моск. гос. техн. ун-т (МАИ), филиал «Восход». 2-е изд., 2009. – 284 с.
5. *Воронцов В.Л.* Подход к планированию процесса усовершенствования технической системы по экономическим показателям // Приборы и системы. Управление и контроль, диагностика. – 2000. – № 5. – С. 76-80.
6. *Воронцов В.Л.* Об оценивании эффективности технических систем в условиях неопределенности // Приборы и системы. Управление и контроль, диагностика. – 2001. – № 12. – С. 73-80.
7. *Воличенко А.Г., Лопатко О.Е., Пономарев С.А., Победоносцев В.А.* Анализ опыта построения отечественных и зарубежных телеметрических радиолиний в части сравнения, выбора и обоснования применяемых методов модуляции для перспективных радиотелеметрических систем (Отраслевая научно-техн. конференция приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы – 2010». ОАО «НПО ИТ», г. Королев, Моск. обл., тезисы докладов, 11-12 ноября 2010 г.).

8. *Воличенко А.Г., Лопатко О.Е., Пономарев С.А., Победоносцев В.А.* Принципы построения и результаты создания радиопередающих и антенно-приемных радиотелеметрических средств разработки НИИ космического приборостроения. Системный подход (2010 г., там же).

9. *Воличенко А.Г., Вольский С.В., Лопатко О.Е., Победоносцев В.А., Шувалов А.В.* Повышение помехоустойчивости космической телеметрической радиолинии // *Электросвязь*. – 2003. – № 1. – С. 26-30.

10. *Шатраков А.Ю., Комков Н.И., Юрченко Е.В., Асланов М.А., Болдырева Н.Н.* Условия и механизмы управления нематериальными активами. – М.: ЗАО «Экономика», 2009. – 302 с.

11. *Победоносцев В.А.* Очерки истории развития отечественной ракетной радиотелеметрии (1946–2006) и место системы БРС-4 в этой истории, третье изд. – Троицк: Тривант, 2007. – 160 с.

12. *Молотов Е.П.* Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.

13. Радиотехнические комплексы для управления дальними космическими аппаратами и для научных исследований / Под ред. Е.П. Молотова. – М.: Физматлит, 2007. – 232 с.

III. ДАТЧИКОВАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РКТ

3.1. Основные направления датчиков физических параметров для ракетно-космической техники

А.В. Гориш, Д.В. Панов, И.С. Рубцов

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 увеличивается количество контролируемых параметров, улучшаются точностные, эксплуатационные и надежностные характеристики, что стимулирует интенсивное развитие датчиковой аппаратуры. Совершенствование датчиковой 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 на датчики большого количества дестабилизирующих факторов (рис. 3.1).

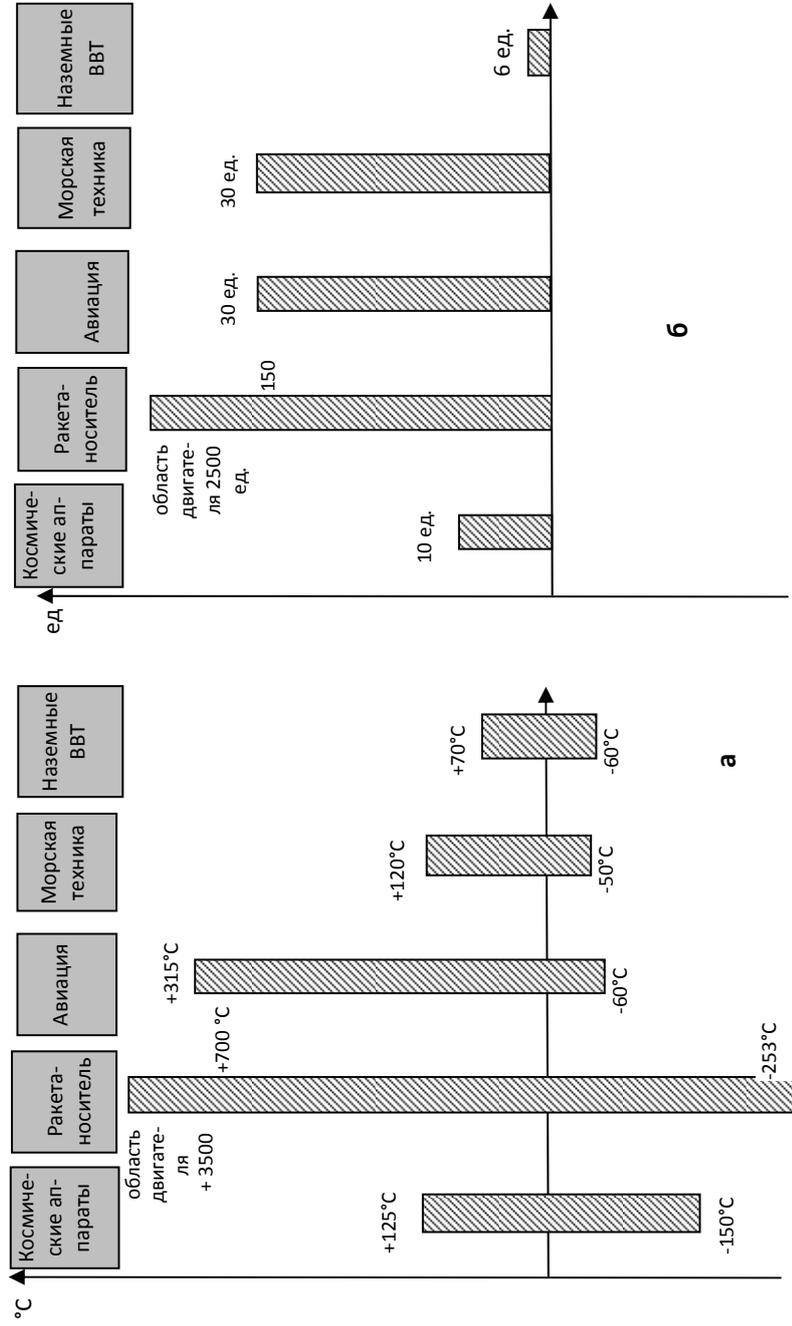


Рис. 3.1. Диапазоны воздействия дестабилизирующих факторов:
a – температура, *б* – вибрация

Уровни воздействия указанных дестабилизирующих факторов и их 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. 3.1 показаны уровни воздействия температур и вибраций на изделия РКТ в сравнении с авиационной, морской техникой и наземных образцов вооружения и военной техники. Примерно такое же соотношение характерно и для остальных дестабилизирующих факторов (давление, акустические шумы, термоудары и др.).

Сложность задач, решаемых проектировщиками для обеспечения работоспособности датчиков при совместном воздействии основных факторов, ярко характеризуют технические требования, заложенные при разработке РКТ:

- диапазон воздействия температуры от + 3000С до –253°С;
- термоудар до 5000 град/с;
- вибрация до 2500 g с частотой от 1 до 10000 Гц;
- ударные нагрузки до 1500 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 учитывать мероприятия по электропожаровзрывобезопасности (ЭПВБ) в среде «кислород – водород», помехоустойчивость и электромагнитную совместимость, большой диапазон измерений (например, для давления – от единиц мм рт. ст. до тысяч МПа), многообразие применения (до 100 раз) и ряд других факторов.

При внешней простоте и миниатюрности датчик – это сложнейшее физическое устройство, чувствительный элемент которого работает в жесточайших эксплуатационных условиях. Датчик должен обладать высокой механической прочностью, отличаться минимальными массой и габарита-

ми. 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 гг. XX в., позволил выработать требования к контрольно-измерительным параметрам этих двигателей, в том числе и к датчиковой аппаратуре.

Первая половина 60-х гг. XX в. 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 др.

Одним из основных проблемных вопросов развития датчиков у нас в стране и за рубежом было увеличение точности. Погрешность измерений достигала, к примеру, 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 придавалось вопросам термостойкости. Повышение термостойкости достигалось за счет применения термокомпенсации, использования теплостойких материалов как для механических, так и для электрических частей датчиков.

Вторая половина 60-х гг. XX в. 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 ракет-

ной технике в это время наиболее востребованными оказались датчики абсолютного давления, датчики давления жидких и газообразных, агрессивных и неагрессивных сред, датчики перегрузок, датчики вибраций, датчики скорости вращения, датчики температуры и др.

В начале 1970-х гг. 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 в мелкосерийном производстве. В дальнейшем развитие микроэлектроники привело к появлению новых перспективных направлений, таких как микромеханика.

Развитие работ по новым космическим комплексам в середине 60–70-х гг. XX в. 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. Особенностью новых магнитометров было то, что они, будучи использованы в качестве координирующего прибора, могли обеспечивать измерение угловых скоростей.

Созданный в 70–80-х гг. XX в. 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°C до $+600^{\circ}\text{C}$) 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 поставленные на тот период разработчиками и производителями датчиков для РКТ задачи были решены, о чем свидетельствовали успешные запуски РКН «Энергия», РКК «Энергия – Буран», РКН «Зенит», эксплуатация орбитальной станции «Мир» и др.

На рис. 3.2 представлены типы и примерное количество датчиков, применяемых на ракетах-носителях, стартовых комплексах, при стендовой отработке изделий РКТ и проведении летно-конструкторских испытаний (ЛКИ) изделий РКТ. Не меньшее количество датчиков используется и на других объектах РКТ (орбитальных комплексах, межпланетных станциях, исследовательских спутниках и др.).

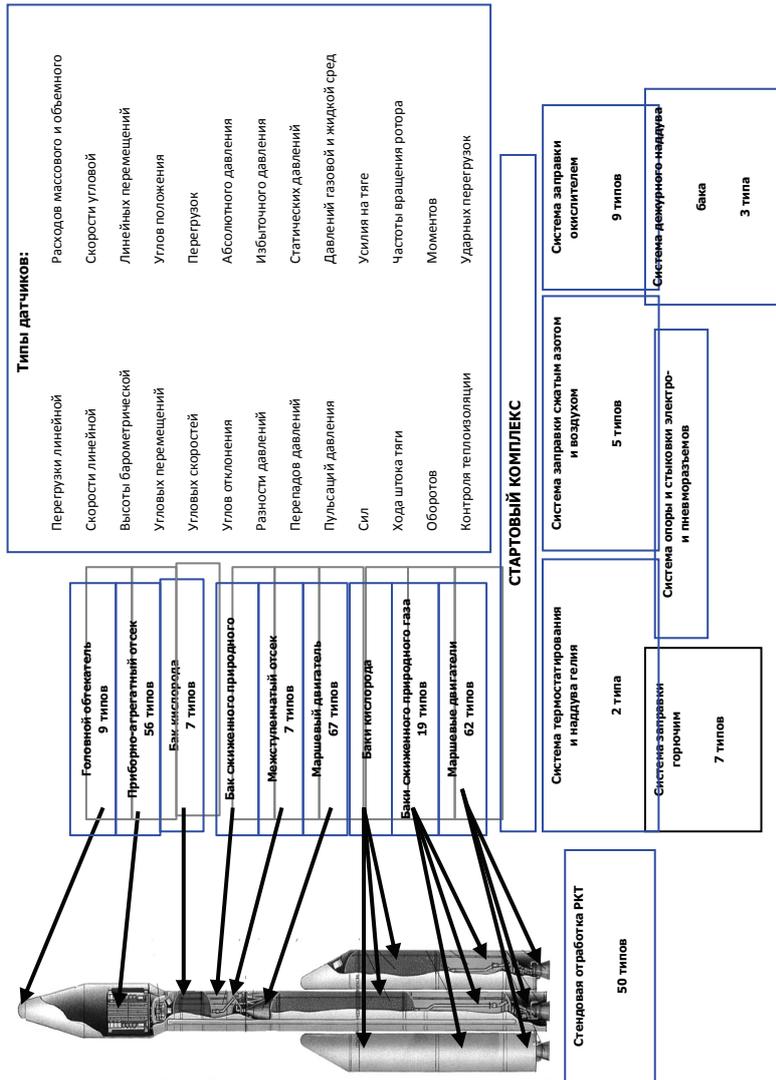


Рис. 3.2. Различные типы датчиков

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 другие, 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. Большое разнообразие создаваемых датчиков, их широкий амплитудный и частотный диапазоны (до 10-х 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, вихретоковый 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.

Измерения электрических и неэлектрических величин основаны на реализации физических законов и явлений. Известно около 400 физических явлений, которые могут быть положены в основу создания средств измерений. Наиболее широко на практике применяются около 30 явлений и принципов действия датчиков. В табл. 3.1 приведена информация об универсальности и эффективности некоторых наиболее широко используемых принципов функционирования датчиков.

Таблица 3.1

Принципы действия датчиков и частота применения

Принцип действия	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	Давление	Усилие	Положение (в пространстве без механической связи)	Перемещение	Скорость (линейная)	Ускорение	Вибрация	Вязкость (без механической связи)	Температура	Состав и раздел сред	Обороты	Деформация	Координаты точки (без механической связи)	Угловая скорость	Пространственные углы	Углы скольжения и атаки	Влажность	Расход	
1																			
Емкостный	++	++	+	++	-	++	+	++	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Пьезоэлектрический	+	+	-	-	-	+	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Дифференциально-трансформаторный	+	+	+	++	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Термопарный	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тензорезистивный	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Потенциометрический	+	+	-	++	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Токовых	+	-	+	+	+	-	-	++	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
Эффект Холла	-	-	+	++	+	-	-	++	-	-	++	-	+	-	-	+	-	-
Пьезорезистивный	++	++	-	-	-	++	++	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-
Волоконно-оптический	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
Магниторезистивный	-	-	+	+	-	-	-	++	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-
ПАВ	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пьезорезонансный, резонансный	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Индукционный	-	-	-	-	++	-	+	-	-	-	++	-	-	+	-	-	-	-
Эффект Кориолиса	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Эффект Виганда	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	+	-	-	-	-
Эффект Магусси	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Z-эффект в полупроводниках и р-п-структурах	+	+	+	+	-	-	+	++	+	-	++	-	+	+	-	-	-	+
Эффект Виллари	+	+	-	+	-	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Туннельный эффект	+	+	-	-	-	++	++	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+

Примечание: «+» – используется;

«++» – использование предпочтительно;

«-» – использование нецелесообразно.

Номенклатура типов датчиков, представляющих интерес для РКТ и других отраслей, 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 развития научно-технического прогресса в науке, технике и технологии возрастали требования к эффективности контроля и диагностирования технического состояния используемых измерительных средств, от которых все в большей степени зависит эффективность создания и эксплуатации изделий 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 погрешность 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 микросистемотехнических МСТ-устройств. Это направление сформировалось в период 70–80-х гг. XX в. 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 рассматриваемых критических технологий могут быть радикально улучшены датчики физических величин традиционных принципов действия (индуктивные, емкостные, пьезорезистивные). Большие достижения ожидаются и уже реализуются в датчиках на основе новых физических явлений (волоконно-оптическом, туннельном эффектах, эффектах Виганда, Матусси), явлений в тонких полупроводни-

ковых, пьезоэлектрических, диэлектрических и сегнетоэлектрических пленках.

Исключительная миниатюрность отдельных чувствительных элементов датчиков, создаваемых на основе МСТ-технологий, позволяет интегрировать их в многофункциональные модули, рассредотачивать в виде нейросети и органически как бы «вписывать» их по всему профилю или объему изделия, узла или детали. Наибольшая результативность (эффект) ожидается от МСТУ, встраиваемых в системы автоматического контроля различных видов РКТ.

Создание современных инерциальных датчиков наряду с информатикой и средствами коммуникаций становится одним из приоритетных направлений развития научной и технической мысли. Изменение материаловедческой и технологической основ космического приборостроения способствует инновационному прорыву, за которым стоят рынки сбыта огромной емкости – от навигационных спутниковых систем GLONASS до навигационных систем и систем управления движением боеприпасов. Кроме того, точность систем управления, ориентации и навигации в первую очередь определяется точностью гироскопических приборов, так как именно они являются датчиками исходной навигационной информации.

Для микромеханических акселерометров и датчиков угловой скорости решение проблемы повышения стабильности нуля всегда относилось к числу приоритетных. В этой связи в настоящее время признаны особо актуальными:

- исследования процессов увеличения скоростей транспортирования объемных и поверхностных зарядов в чувствительных элементах, выполненных из полупроводниковых материалов;
- исследования схемно-конструктивных путей увеличения стабильности на основе регулирования скоростей транспортирования.

Наиболее перспективные навигационные технологии базируются на использовании комплексной информации, получаемой из различных источников.

Существенный выигрыш в повышении качества навигационной информации может быть получен при использовании магнитометров как источников дополнительной информации о местоположении объекта относительно вектора геомагнитного поля Земли, относительно магнитного поля средств обнаружения и наведения, стрелкового оружия, приборов ночного видения и т.д.

3.2. Основные принципы проектирования магнитометров

А.В. Горюш, И.С. Рубцов

По виду физических явлений, на основе которых создаются магнитометры, их можно условно разделить на следующие группы:

- гальваномангнитные, основанные на эффекте Холла;
- магниторезистивные – разновидность гальваномангнитных, основанные на эффекте изменения сопротивления материала при возникновении силы Лоренца в магнитном поле;
- индукционные или fluxgate – магнитометры, основанные на эффекте наведения ЭДС в контуре при изменении магнитного потока через этот контур;
- феррозондовые – разновидность индукционных, основанные на эффекте сдвига кривой перемагничивания сердечника под действием внешнего измеряемого поля;
- квантовые (резонансные), принцип действия которых основан на явлении магнитного резонанса, заключающемся в избирательном поглощении или излучении электромагнитных волн веществом, находящимся в магнитном поле;

– микроэлектронные магнитометры на основе гетероструктур из пьезоэлектрических и ферромагнитных нанопленок.

Магнитометры на гальваномагнитном эффекте Холла широко применяются для измерения постоянных, переменных и импульсных магнитных полей, имеют малые габариты и массу, однако их разрешающая способность ограничивается значениями 1–10 нТ, в связи с этим они не используются для измерения слабых магнитных полей, в частности магнитного поля Земли.

Роль датчиков является определяющей в любой измерительной системе. От их характеристик все в большей мере зависят 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.

3.3. Основные тенденции совершенствования датчиковой аппаратуры

А.В. Горюш, И.С. Рубцов

Анализируя тенденции совершенствования систем телеизмерений, контроля, диагностики и управления в повышении тактико-технических характеристик РКТ, можно отметить следующее:

1. Выполнение задач РКТ в значительной степени зависит 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.

2. К важнейшим технологиям датчиков относятся технологии полупроводников, сверхпроводников, цифровые, компьютерные технологии и алгоритмы.

3. 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 на функцию, повышение плотности и сложности монтажа приборов и реализация концепции интегральной сборки интегральных элементов и модулей и, естественно, снижение стоимости изделий.

4. 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, представлять собой уже зрелую широко распространенную продукцию.

5. 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 мини-системы в одном корпусе.

6. Характерной тенденцией в современной технологии систем датчиков является одновременное использование большого количества источников информации, в том числе с помощью пространственно рассредоточенного множества датчиков одного и того же типа либо системы одиночных датчиков, обеспечивающих восприятие и преобразование информации о множестве физических величин.

7. Отмечается растущее стремление к внедрению многофункциональных конфигураций датчиков, т.е. датчиков, способных осуществлять несколько различных функций с использованием совместных аппаратных средств.

8. 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.

9. 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).

10. 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. В ближайшем будущем все датчики станут цифровыми, способными немедленно преобразовывать электрическую реакцию датчика на физические свойства внешнего мира в цифровые коды для дальнейшей обработки, хранения, передачи и отображения.

11. Прогнозируется появление новых устройств на основе квантовой физики и нанoeлектроники, 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.

12. Экспоненциальный рост вычислительных возможностей будет продолжаться в течение ряда десятилетий рассматриваемого периода за счет достижений в областях технологии микросхем, архитектуры ЭВМ и программного обеспечения. По мере развития систем в направлении распределенных сетей мультипроцессоров будет осложняться проблема надежности, что потребует встраивать 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.

13. Совершенствование всего многообразия современных датчиков и особенно датчиков нового поколения базируется на использовании новых специальных конструктивных, функциональных и интеллектуальных материалов, таких как сплавы с малым температурным коэффициентом модуля упругости, керамические материалы, композиты, в том

числе с наноструктурами, кремний, кварц, пьезокерамика, пьезопленки и многие другие.

14. 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, 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.

15. Развитие технологии проектирования датчиков будет неизбежно сопровождаться следующим рядом проблем:

- 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, обла-

дающих 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 линий связи;

– развитие информационных сетей распределенных датчиков приведет к возрастанию уязвимости их от преднамеренных воздействий средствами информационной войны.

3.4. Проблемы материалов, применяемых в датчиковом приборостроении

И.С. Рубцов

Мировой научно-технический прогресс в приборостроении, и особенно в специальном, во многом связан с применением новых конструкционных и функциональных материалов. Использование новых материалов с уникальными свойствами (чистые металлы, элинварные сплавы, керамика, композиты, тонкие магнитные, диэлектрические, пьезоэлектрические, сегнетоэлектрические пленки и др.) оказалось особенно эффективным в научном и прикладном приборостроении применительно к РКТ.

Выделению новых материалов в особый объект научно-технической политики способствовала та роль, которую они сыграли в развитии электроники, энергетики, авиационной и РКТ. Окончательно перспективные материалы переместились в фокус этой политики в связи с решающим значением, которое приобрели в последние годы высокие технологии для обеспечения конкурентоспособности продукции ведущих стран. Высокотехнологичная (наукоемкая) продукция по объему продаж на мировых рынках значительно опережает сырьевые и энергетические ресурсы.

Материалы, применяемые в датчиках, должны обладать рядом специальных свойств, поэтому широко внедряются самые различные сплавы металлов, особо чистые вещества, полимерные материалы, керамика, специальные стекла, сапфир, кварц кристаллический и плавленый, кремний, нитрид и карбид кремния и многие другие материалы, в том числе жидкие.

На практике известны и находят все большее применение функциональные материалы в виде тонких пленок: сегнетоэлектрические, пьезоэлектрические, пироэлектрические, фотоэлектрохимические, с ионной электропроводимостью, со смешанной проводимостью, полупроводниковые, металлические тонкопленочные проводники, сверхпроводящие, магнитные, электрооптические, диэлектрические.

В классе функциональных материалов следует отметить достижения в области органических пьезоэлектриков и токопроводящих полимеров.

В реализации политики ускорения научно-технического прогресса ведущих стран мира все более заметную роль начинают играть разработки и исследования в области нанотехнологии, которую относят к прорывным направлениям фундаментальной науки с быстрым выходом на прикладное использование ее достижений. С успехами в этой области связывается возможность повышения критически важных параметров изделий высокотехнологических отраслей военной и гражданской промышленности.

Нанотехнология определяется вообще как создание и применение материалов, устройств и систем через обращение с веществом в масштабах менее 100 нанометров, или 0,0000001 метра (т.е. около размера 3-х атомов). Таким образом, потенциальное влияние нанотехнологии на датчики, работа которых зависит от взаимодействий на молекулярном и атомном уровнях, весьма велико.

Термин «нано датчик» используется для датчиков, которые:

- измеряют свойства в наномасштабе (например, перемещения менее 100 нм);
- сами являются наномасштабными;
- имеют в своем составе структуры, полученные по нанотехнологии, например нанотрубки.

Часто нанодатчики обладают существенными преимуществами перед традиционными датчиками в конкретных областях применения, например, более высокой чувствительностью. Дополнительные преимущества нанодатчиков:

- более низкая стоимость материалов и производства;
- меньший вес;
- пониженное потребление мощности.

Малые размеры нанодатчиков упрощают их интеграцию в структуры кристалла. Сниженное потребление мощности позволяет встраивать их в устройства беспроводной связи, обеспечивающие широко распространенное распределенное управление и контроль. Маломощные нанодатчики также хорошо подходят для использования в качестве работающих от батарей портативных датчиков для интеграции на структуры кристалла.

Ожидается, что нанопроизводство датчиков снизит производственные издержки, поскольку в большинстве случаев нанодатчики будут монтироваться в беспроводных корпусах, что исключает затраты на электропроводку и прокладку кабелей.

Особое место в нанотехнологии отводится наноматериалам, повышенный интерес к которым, появившийся в последние годы, обусловлен их необычно высокими по сравнению с традиционными материалами свойствами (табл. 3.2).

Конструктивно-технологические достижения в области электронной техники конца XX – начала XXI вв. и связанный с ними прогресс в области измерительных и вычислительных средств привели к двум важным эволюционным процессам на стыке электроники и метрологии.

Таблица 3.2

**Отличия в изменениях свойств нанокристаллических
и традиционных материалов**

Свойства	Характер отличий
Электрические	Повышение электропроводности керамических материалов и магнитных нанокompозитов. Понижение электропроводности металлов.
Магнитные	Увеличение начальной магнитной проницаемости.
Механические	Повышение твердости и прочности металлов и сплавов. Повышение пластичности, вязкости и технологичности керамических материалов.
Оптические	Смещение в коротковолновую область оптических спектров поглощения. Усиление люминесценции полупроводников.

Один из них непосредственно связан с результатами эволюции измерительных преобразователей или датчиков в направлении структурного усложнения, расширения функциональных возможностей и решаемых технических задач за счет перехода на перспективную элементную базу электроники, новые технологии проектирования и производства.

Другой процесс является результатом интеграционных процессов в электронике, которые открыли принципиальные возможности конструктивно-технологического объединения в завершённом электронном устройстве всех основных функциональных узлов измерительно-информационного канала:

– чувствительных элементов (ЧЭ), воспринимающих измеряемую физическую (химическую) величину и осуществляющих ее первичное преобразование в электрические сигналы;

– устройств коммутации и нормализации сигналов (аналоговые мультиплексоры или аналоговые ключи и коммутаторы, устройства выборки и хранения, операционные и измерительные усилители, фильтры и др.);

- аналого-цифровых преобразователей и компараторов напряжения как устройств вторичного преобразования аналоговых сигналов в эквивалентный им цифровой код;
- микропроцессорных средств цифровой обработки сигналов и схем обрамления (цифровые и логические схемы, запоминающие устройства различных классов);
- цифро-аналоговых преобразователей для обратного преобразования цифровой информации в аналоговые сигналы;
- устройств вывода и распределения результирующих сигналов (устройства выборки и хранения, аналоговые коммутаторы-демультиплексоры и др.).

Таким образом, интеграционные технологические процессы в электронике способствовали появлению нового класса изделий – преобразователей физических величин и компонентов датчиков, которые восполнили недостающее звено в классификаторах соответствующих групп однородной продукции (интегральных микросхем, полупроводниковых приборов, изделий квантовой и СВЧ-техники, оптики и фотоэлектроники и др.)

В настоящее время высокие технологии стали основой промышленности развитых стран. Критические технологии, особенно технологии производства конструкционных, функциональных и «интеллектуальных» материалов, наряду с такими важными областями, как информатика, биотехнология, энергетика, представляют собой одно из наиболее динамично развивающихся технологических направлений.

К критическим высоким технологиям создания датчиковой аппаратуры относятся:

- информационная интеграция и системная поддержка жизненного цикла продукции (CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологии);
- информационно-коммуникационные системы;
- искусственный интеллект;
- компьютерное моделирование;

- лазерные и электронно-ионно-плазменные технологии;
- мехатронные технологии;
- микросистемная техника;
- опто-, радио- и акустоэлектроника, оптическая и сверхвысокочастотная связь.

3.5. Основные требования, предъявляемые к датчикам физических параметров для изделий РКТ

И.С. Рубцов

1. Точность измеряемого параметра.

Современные датчики независимо от их принципа действия в нормальных условиях эксплуатации имеют достаточно высокие метрологические характеристики. Тензорезисторные, пьезорезисторные, емкостные, индуктивные датчики статико-динамических давлений, датчики линейных и угловых ускорений и др. имеют основную погрешность измерения $\sim 0,1\%$. Однако в эксплуатационных условиях применения, характеризующихся экстремальными уровнями внешних воздействий, погрешности измерений достигают 1–2,5%, а динамические погрешности еще более – до 6–8%. Внедрение современных конструкционных и функциональных материалов, перспективных технологий позволяет довести уровень погрешностей измерений до 0,1–0,5%. Применение цифровой (микропроцессорной) обработки информации дает возможность довести уровень погрешностей измерений до 0,01–0,1%.

2. Ресурс работы и сохраняемость.

Датчики в большинстве случаев должны обеспечивать ресурс не менее 50–200 тыс. часов и допускать хранение сроком до 20 лет. Увеличение ресурса работы датчиков происходит за счет подбора особо стабильных и прочных материа-

лов, особенно кристаллических (кремний, кварц, сапфир, керамика), обеспечения достаточного запаса по рабочим режимам.

3. Долговременная стабильность метрологических характеристик.

Метрологические характеристики должны сохраняться в процессе хранения и эксплуатации с допустимым их отклонением не более 0,01 % в год.

4. Устойчивость к внешним влияющим факторам.

Датчики должны быть устойчивы к ионизирующим излучениям и механическим воздействиям (вибрации, удары, линейные ускорения), которые зависят от области применения.

Важным фактором является устойчивость к воздействию нестационарной температуры, например, при быстром изменении температуры от -196 до $+150$ °С погрешность измерений не должна превышать 0,2 %.

5. Интеллектуализация.

Наряду со своей основной функцией преобразования интеллектуальные датчики давления должны также выполнять некоторые или все нижеперечисленные функции:

- восприятие измеряемого параметра, преобразование его в электрический сигнал;
- усиление аналогового сигнала, его фильтрация и цифровое преобразование;
- коррекция выходной характеристики (линеаризация и т.п.);
- компенсация влияния окружающей среды (температуры, давления, помех и т.п.) с целью коррекции выходного сигнала;
- одновременная работоспособность в различных диапазонах измеряемого давления;
- получение дополнительной информации (многофункциональность);

- подключение в систему контроля и управления;
- самодиагностика и автоматическая коррекция;
- выполнение логических управляющих операций и принятие решения о последовательности их выполнения;
- включение алгоритмов, проверяющих истинность выдаваемых результатов;
- наличие беспроводного съема информации с датчика.

6. Расширение диапазонов измерений в сторону малых и больших значений измеряемых величин за счет использования новых конструктивных схем, применения новых сплавов кремния, кварца, керамики.

7. Повышение термоустойчивости датчиков в расширенном диапазоне температур, в том числе при нестационарных воздействиях за счет термостойких материалов и электронных компонентов, специальных принципов преобразования, а также виброустойчивости преимущественно посредством уменьшения габаритов и массы, применения компенсационных элементов, технологий микромеханики (микроминиатюризации).

8. Увеличение дистанционности измерений, повышение помехоустойчивости за счет использования корреляционного метода измерения, генераторных измерительных цепей, передачи информационных сигналов по волоконно-оптическим линиям связи, использования избыточных кодов, аналоговой и цифровой фильтрации.

9. Повышение надежности за счет резервирования и применения элементов с пониженной и равной интенсивностью отказов.

10. Повышение пожаровзрывобезопасности за счет применения волоконно-оптических чувствительных элементов, конструктивной и схемотехнической защиты, снижения энергопотребления.

11. Снижение энергопотребления за счет применения генераторных ЧЭ и специальных измерительных цепей, мик-

ромощной измерительной базы, микрорезонаторных чувствительных элементов.

12. Обеспечение сопряжения систем измерения с цифровыми вычислительными машинами.

13. Снижение массы и габаритов датчиков за счет внедрения микромеханических ЧЭ с использованием технологий микроэлектроники.

14. Обеспечение широкой унификации и стандартизации датчиков по посадочным размерам, выходным сигналам, схемам внешних соединений, что позволит в последующем с малыми затратами перейти на новые датчики.

В качестве общих выводов можно отметить следующее.

По мере развития и совершенствования РКТ развивались и датчики, которые использовались как на самих изделиях (системы телеметрии, управления, контроля и регулирования), так и в наземной инфраструктуре (испытательная база, полигоны и проч.). При этом для датчиков приоритетными направлениями развития были расширение номенклатуры измеряемых параметров, расширение диапазонов измерения, увеличение точности, повышение надежности и временной стабильности, снижение массогабаритных показателей, увеличение ресурса и проч.

Такие направления диктуются тем, что увеличивается тяга двигателей, появляются высокоресурсные орбитальные аппараты, уменьшаются габариты и вес космических аппаратов (КА), увеличивается количество КА, одновременно выводимых одним носителем. Кроме того, датчики, используемые в современной РКТ, постепенно «приобретают интеллект» в части самодиагностики, обработки, селекции и сжатия измерительной информации и т.д., что достигается за счет применения современной многофункциональной элементной базы и эффективных информационных технологий.

В то же время, в отличие от общепромышленных датчиков, датчики, предназначенные для РКТ, в процессе функционирования на изделиях и стендах подвергаются воздейст-

вию значительного числа дестабилизирующих факторов с высокими уровнями и динамикой. Причем это воздействие для РКТ носит комплексный характер, проявляющийся в одновременном воздействии на датчик нескольких дестабилизирующих факторов, например, вибрации и температуры, температуры и агрессивной среды и проч.

При наблюдаемом процессе непрерывного усложнения создаваемых аппаратов и объектов для длительных орбитальных полетов, высокой насыщенности их системами диагностики, управления и контроля разработчикам измерительных систем и датчиков нельзя довольствоваться старым запасом знаний и технологий, а необходимо дальнейшее совершенствование и создание нового поколения датчиков на базе новых принципов преобразования, современной элементной базы и новейших материалов.

IV. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ИЗДЕЛИЙ РКТ И ДРУГИХ ВИДОВ ТЕХНИКИ

А.Г. Дмитриенко, А.В. Блинов, Е.В. Ефремов

Совершенствование эксплуатационно-технических характеристик изделий ракетно-космической техники (РКТ), вооружений и военной техники (ВВТ) и объектов наземной космической инфраструктуры (НКИ) не представляется возможным без использования широкой номенклатуры быстродействующих и высокоточных систем измерений, контроля и диагностики, неотъемлемой частью которых является датчико-преобразующая аппаратура (ДПА).

ОАО «НИИФИ», являясь головным предприятием Федерального космического агентства по датчикостроению, принимает непосредственное участие в создании научно-технического задела по развитию РКТ в рамках реализации существующих программ, а также формированию концепций ФКП-2025 и ФЦП «Развитие ОПК-2025». В рамках указанных программ систематизированы требования потребителей-головных разработчиков изделий РКТ [1, 2], на основе которых определены приоритетные характеристики, методы, технологии и материалы для разработки перспективных датчиков и систем (рис. 4.1).

Из рис. 4.1 видно, что для создания перспективных датчиков, преобразователей и систем нового поколения необходимо совершенствование их массогабаритных и метрологических характеристик, значительное увеличение назначенного ресурса, вероятности безотказной работы и устойчивости к воздействию комплекса влияющих величин, отличающихся широкими номенклатурой и интервалами изменения.

При этом особо выделяются требования к датчикам для эксплуатации на космических аппаратах в условиях открыто-

го космоса. Они отличаются жесткими требованиями к вероятности безотказной работы (до 0,9995), к ресурсу (более 15 лет), к изменениям температуры окружающей среды (± 130 °C), а также практическим отсутствием возможностей теплообмена. Наиважнейшим требованием для них является сохранение работоспособности при длительном воздействии ионизирующих излучений космического пространства.



Рис. 4.1. Перспективные направления развития датчиков, преобразователей и систем для изделий РКТ

Как следует из рис. 4.1, приоритетные направления совершенствования датчиков, преобразователей и систем связываются также с повышением качества применяемых кон-

струкционных материалов и развитием новых функциональных и интеллектуальных материалов. В классе функциональных материалов можно отметить значительные достижения в исследованиях и производстве органических пьезоэлектриков и токопроводящих материалов. К интеллектуальным или «умным» материалам относятся магнитострикционные и электролюминесцирующие материалы, бифункциональные сополимеры, электропроводящие полимеры и ряд других, которые позволяют изменять свои свойства в режиме реального времени с помощью электрических, тепловых, электромагнитных и иных воздействий.

Сегодня отражением перечисленных требований является тенденция значительного повышения точности за счет внедрения цифровых технологий и частичного перераспределения функций в тракте измерения «датчик-система» [3]. Современный датчик способен выполнять самостоятельно или по внешнему запросу самокалибровку, самодиагностику, изменение диапазонов измерений, обработку, анализ, сжатие информации и т.д. Указанные признаки определяют интеллектуальность датчика, а также его широкие возможности по измерению нескольких физических величин, простоте использования в распределенных, в том числе и беспроводных, сетях и системах. При этом качество систем измерений, контроля и диагностики, одной из основных функций которых становится сбор цифровой информации, возрастает за счет совокупной обработки результатов измерений множества физических величин, использования современных методов анализа случайных стационарных и нестационарных процессов, обеспечивающих повышение достоверности, точности, надежности и возможности оценки и прогнозирования технического состояния объектов.

Одной из важных тенденций развития датчиков и систем для РКТ и НКИ является необходимость повышения конкурентоспособности датчиков и систем нового поколения путем использования новых методов и систем конструктор-

ского и технологического проектирования (CAD/CAM/CAE/PDM). Применение компьютерных систем и оборудования рассматривается как внедрение единого информационного технологического процесса на всем протяжении от проектирования до изготовления изделий, реализующих концепцию сквозного проектирования и производства «от идеи до металла» (рис. 4.2).

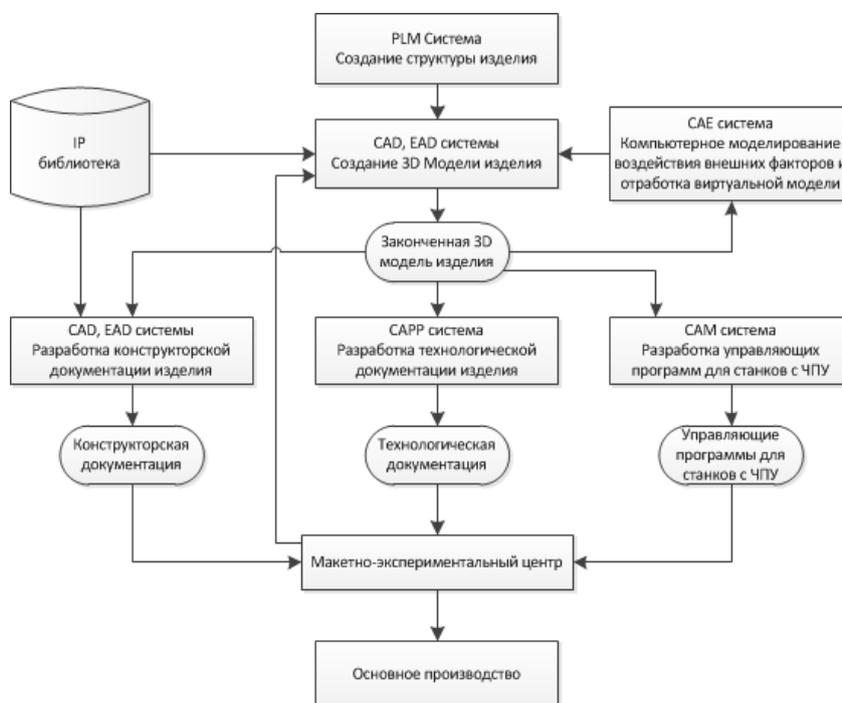


Рис. 4.2. Структура сквозного конструкторского и технологического проектирования

На основе тенденций совершенствования, связанных с радикальным улучшением технических характеристик датчиков и систем, использованием в них новых материалов и цифровых технологий, внедрением конструкторского и технологического проектирования в ОАО «НИИФИ», в настоящее время разработаны интеллектуальные датчики и системы мониторинга и контроля (СМиК) технически сложных объектов РКТ и НКИ. В них заложены принципы адаптации к решению аналогичных задач контроля и мониторинга на технически сложных объектах (ТСО) других отраслей промышленности (ВВТ, гидросооружений, мостов, атомных станций, строительных конструкций и т.п.).

ОАО «НИИФИ» как единственный исполнитель и головное предприятие по реализации Проекта № 25 Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России «Создание интеллектуальных систем мониторинга и контроля технически сложных объектов» выполняет ОКР «Диагностика» по созданию интеллектуальных систем мониторинга и контроля состояния технически сложных объектов.

В настоящее время завершена разработка рабочей конструкторской документации на опытные образцы широкой номенклатуры базовых объектовых интеллектуальных систем мониторинга и контроля состояния типовых ТСО РКТ и НКИ (рис. 4.3).

Обобщенными особенностями созданных объектовых интеллектуальных СМиК типовых ТСО РКТ и НКИ являются:

- 1) локализация аварийных ситуаций и прекращение их развития;
- 2) удаленное конфигурирование датчиков;
- 3) передача данных по радиоканалам, оптоволоконным линиям связи, скоростной сети Ethernet;
- 4) сопряжение с существующими и перспективными системами регистрации и визуализации.

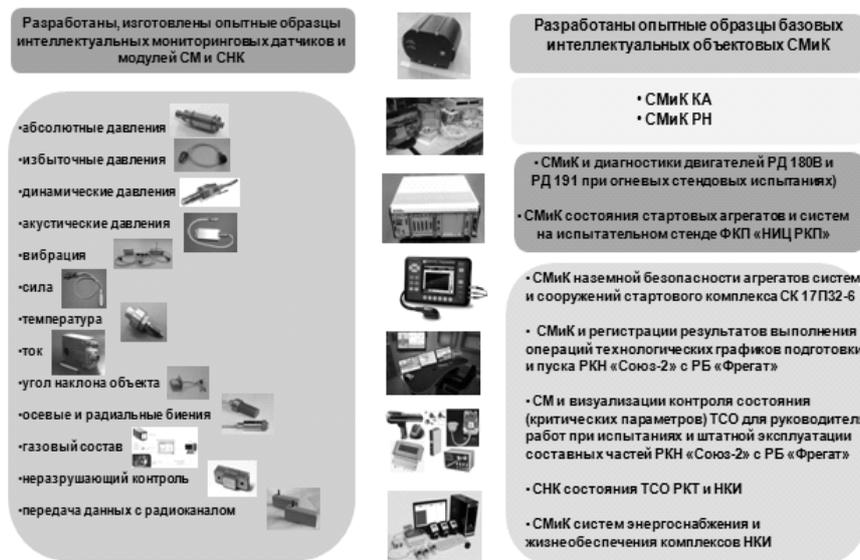


Рис. 4.3. Интеллектуальные датчики и интеллектуальные измерительные системы (Проект 25 – ОКР «Диагностика»)

Новизна разрабатываемых СМиК, как комплексного объекта измерения, заключается в реализации многоуровневых иерархических реконфигурируемых систем на основе современных методов многокритериального управления и средств моделирования.

Ниже кратко представлены назначение и основные функции СМиК, разработанных в рамках Проекта 25.

1. Система СМиК-Р, предназначенная для мониторинга, контроля и регистрации результатов выполнения операций технологических графиков подготовки и пуска РКН «Союз-2» с РБ «Фрегат», обеспечивает:

– контроль хода и параметров процесса подготовки, пуска и состояния участвующего в этом процессе оборудования и систем;

- прием сообщений от управляемых элементов, систем и агрегатов об исполнении команд, включая и ручные операции;
- оперативное отображение и регистрация параметров, состояния контролируемого оборудования и систем;
- оперативную сигнализацию отклонений параметров процесса подготовки от нормального хода, возникновения аварийных ситуаций и отказов наземных систем;
- автоматический отбой или остановку процесса подготовки в случае возникновения аварийной ситуации;
- переход на режим управления выходом из аварийной ситуации, ее локализацией и прекращением развития;
- отображение рекомендаций по выходу из аварийных ситуаций и устранению отказов (неисправностей);
- прогнозирование развития технологического процесса подготовки и технического состояния используемых в этом процессе систем и оборудования.

2. Система СМиК-В, предназначенная для мониторинга, контроля, визуализации результатов контроля состояния (критических параметров) технически сложных устройств для руководителя работ при испытаниях и штатной эксплуатации составных частей РКН «Союз-2» с РБ «Фрегат», обеспечивает:

- прием от СМиК сообщений о результатах выполнения технологических операций, включая ручные операции, и физических значениях параметров технологического процесса;
- анализ полученных данных с целью выявления технических неисправностей оборудования (агрегатов, систем и др.) и отклонений от нормального хода процесса подготовки, в том числе приводящих к аварийным ситуациям;
- контроль хода и параметров процесса подготовки и пуска и состояния участвующих в этом процессе оборудования и систем;

- оперативное отображение контрольных параметров процесса подготовки и состояния контролируемого оборудования и систем;

- отображение подсказывающей информации (рекомендаций) по выходу из аварийных ситуаций и устранению отказов (неисправностей);

- прогнозирование развития технологического процесса подготовки и состояния участвующих в этом процессе систем и оборудования.

3. При мониторинге и контроле состояния стартовых агрегатов и систем на испытательном стенде ФКП «НИЦ РКП» выполняются:

- сбор данных с мониторинговых датчиков о состоянии стартовых агрегатов и систем, их обработка, документирование, архивирование и хранение;

- анализ полученных данных с целью выявления технических неисправностей оборудования (агрегатов, систем, конструкций и др.);

- представление информации пользователям о текущем состоянии объектов мониторинга, возникновении угроз, критических ситуаций и аварий;

- прогноз возможных аварий с выработкой рекомендаций, направленных на их предотвращение и минимизацию ущербов;

- поддержка принятия оперативных решений, обеспечивающих наилучший в сложившихся обстоятельствах выход из предаварийных ситуаций (вплоть до приостановки работ).

4. При мониторинге и контроле систем электроснабжения и жизнеобеспечения комплексов ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры выполняются:

- сбор данных датчиками физических величин о техническом состоянии объектов наземной космической инфра-

структуры, их обработка, сжатие, архивирование, хранение и передача в каналы связи;

- анализ полученных данных с целью выявления технических неисправностей оборудования (агрегатов, систем, конструкций и др.) и нарушений технологических процессов функционирования ТСО;

- представление информации о текущем техническом состоянии ТСО в пункты мониторинга (ПМ) и (или) эксплуатирующему персоналу;

- документирование и архивирование данных о техническом состоянии ТСО.

5. При мониторинге и контроле ракетно-космической техники (РН и РБ) выполняются:

- диагностика бортового оборудования летательного объекта в реальном масштабе времени, передача информации по радиоканалу;

- реализация модуля ЭВМ на платформе прикладных процессоров ОМАР (система на кристалле), позволяющего повысить производительность, снизить энергопотребление, повысить надежность.

6. Разработанная распределенная ультразвуковая СНК позволяет определять наличие дефектов в элементах конструкций, отличается принципиально новой методикой электронного управления сканирующего луча и применением фазированных решеток, с помощью которых возможно получать объемное изображение дефекта с размерами на отдельных напряженных элементах конструкций НКИ.

Отличительными особенностями разработанных датчиков и систем диагностики на их основе для ракетных двигателей типа РД191 ОАО НПО «Энергомаш» является то, что созданные унифицированные технические решения могут быть с незначительной доработкой, например в части изменения установочных размеров, использованы при разработке датчиков для серии создаваемых и модернизируемых двигателей ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики» (ОАО

КБХА) – РД 0146 (на жидких кислороде и водороде для разгонных блоков) и РД0124, РД0124А (на жидком кислороде и керосине для ракет-носителей «Союз-2» и «Ангара»). С ОАО КБХА и ОАО НПО «Энергомаш» согласованы технические задания на разработку ряда датчиков и систем для данных двигателей.

Наряду с перечисленным можно отметить, что в рамках выполнения Президентского проекта № 25 созданы новые прогрессивные технологии автоматизированной сборки интеллектуальных датчиков физических величин на основе микро- и нанотехнологий. Результаты выполненных работ отражены в 7 диссертационных работах на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Выводы

1. Определены перспективные направления развития датчиков и систем измерения контроля и диагностики для изделий РКТ, НКИ и других видов техники, предусматривающие:

- совершенствование метрологических и массогабаритных характеристик, повышение надежности и назначенного ресурса;
- использование новых материалов и технологий;
- реализацию цифровых технологий для интеллектуализации процесса измерений в датчиках и системах;
- необходимость внедрения сквозного конструкторского и технологического проектирования на всех этапах разработки.

2. В рамках Президентского проекта № 25 впервые разработана большая номенклатура интеллектуальных датчиков и интеллектуальных объектовых систем мониторинга и контроля с функциями диагностики для наземной космической инфраструктуры и изделий космической техники. Созданные при этом унифицированные технические решения могут ис-

пользоваться для построения интеллектуальных систем мониторинга при отработке изделий РКТ, создаваемых ОАО КБХА и ОАО НПО «Энергомаш», а также при мониторинге состояния технически сложных объектов других видов техники и отраслей промышленности.

Литература

1. *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.

2. Тенденции развития датчиковой аппаратуры и систем измерения, мониторинга, контроля и диагностики технически сложных объектов на ее основе / А.Г. Дмитриенко, В.И. Волчихин, А.В. Блинов, Е.А. Ломтев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2012. – № 2. – С. 6-12.

3. *Дмитриенко А.Г.* Датчики физических величин – основа интеллектуальных систем мониторинга и контроля технологически сложных объектов // Российский космос. – 2012. – № 4.

V. БОРТОВЫЕ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

5.1. Особенности построения двухдиапазонной бортовой аппаратуры командно-измерительной системы для управления космическим аппаратом на этапе его вывода на ГСО

В.Г. Алыбин, Н.Н. Булгаков, А.А. Кривошеин

При выводе космического аппарата (КА) на геостационарную орбиту (ГСО) с использованием собственных апогейных двигателей для повышения оперативности, надежности и эффективности процессов управления и контроля систем КА, в том числе и апогейных двигательных установок, необходимо управлять его движением в течение всего полета от момента отделения от разгонного блока до точки стояния. При этом время нахождения КА на переходной орбите до момента выведения КА на проектируемую точку стояния на ГСО исчисляется месяцами.

Задача управления КА на промежуточной и переходной орбитах решается путем создания двух контуров управления в БА КИС через радиолинии «Земля–Борт» и «Земля–СР–Борт». В этом случае в качестве БА КИС используется двухдиапазонная БА КИС-2. В качестве СР применяются КА «Луч-5А», «Луч-5Б» и «Луч-5В».

При использовании межспутниковых радиолиний для связи наземной аппаратуры (НА) КИС с КА существенно расширяется зона радиовидимости по сравнению с непосредственной связью НА КИС с БА КИС, особенно если использовать не один СР типа «Луч», а два или три и если рационально выбирать угол наклона переходной орбиты КА и место ее старта по отношению к месту расположения НА КИС.

При наличии трех СР зона радиовидимости для БА КИС-2 на опорной орбите ($h \leq 2$ км) составляет 100%, и на этом участке выведения КА на ГСО сеансный режим существует все время, он может кратковременно прерываться при переключении каналов связи БА КИС с одного СР («Луч») на другой с иной точкой стояния по долготе.

На переходной орбите ситуация с зоной радиовидимости становится сложнее, так как она не перекрывается тремя СР, а на каждой высоте h над Землей представляет собой три окружности, центры которых разнесены один относительно другого примерно на 120° . По мере увеличения h диаметры этих окружностей линейно уменьшаются от ~ 17000 км при $h \leq 2000$ км до нуля при $h = 38850$ км. Поэтому зона радиовидимости по радиолиниям «Земля–СР–Борт» уменьшается от 100% у Земли до нуля при $h = h_{\text{ГСО}}$.

Вторая зона радиовидимости (по радиолиниям «Земля – Борт»), наоборот, увеличивается от 4% при начале вывода КА на опорную орбиту до 100% на ГСО при условии расположения НА КИС в зоне радиовидимости точки стояния КА. При двух НА КИС, расположенных на территории РФ с разнесом по долготе, насколько это допускается границами РФ, можно получить почти полную зону радиовидимости для КА, выводимого на ГСО.

Точные расчеты суммарных зон радиовидимости могут быть проведены, если известны все данные для определения параметров переходной орбиты, но в любом случае можно делать вывод о целесообразности построения БА КИС-2 для лучшего управления движением КА при выводе его на ГСО с помощью апогейных двигателей.

Особенностью управления КА с помощью БА КИС-2 является существенное различие по времени использования каждого из двух контуров управления. Работа НА КИС и БА КИС по радиолиниям их непосредственной связи происходит в течение всего срока активного существования (САС) КА,

т.е. в течение 10-15 лет, а первый контур управления включается только на этапе вывода КА на ГСО, т.е. в течение 2-6 месяцев.

Другие особенности использования БА КИС-2 обусловлены конструкцией СР типа «Луч». К ним относятся:

- частотные диапазоны КА типа «Луч»: S и Ku;
- ширина диаграмм направленности антенн и диапазон углов их поворота: в S-диапазоне – 30 °, в Ku-диапазоне – 46 мин. и угол поворота $\pm 11^\circ$;
- предпочтительный режим связи КА с СР – режим индивидуального доступа, т.е. сеансный режим;
- типы сигналов в радиолиниях.

Схема двухконтурного управления КА

Схема двухконтурного управления КА показана на рис. 5.1.

Связь по радиолиниям «Земля-Борт» осуществляется в S-диапазоне частот, а по радиолиниями «Земля – СР – Борт», в Ku- или S-диапазоне частот.

При построении системы связи КА с НА КИС непосредственно и через СР необходима передача сигналов управления и приема сигналов телеметрии КА в двух частотных диапазонах, что связано прежде всего с выделенными диапазонами частот для межспутниковой линии связи и радиолиний «НА КИС-Борт» и «НА КИС-СР».

Для нормальной работы БА КИС с двумя контурами управления целесообразно разнести частоты передачи и приема радиолиний «НА КИС-Борт» и «Борт-НА КИС», «Борт-СР» и «СР-Борт» между собой, при этом обеспечивается их электромагнитная совместимость.

Поэтому для реализации двухконтурной БА КИС необходимо использовать два частотных диапазона (например, Ku- или S-диапазон, имеющиеся в СР «Луч» и S-диапазон

для радиолинии «Земля – Борт»), и таким образом, БА КИС является двухдиапазонной БА КИС-2.

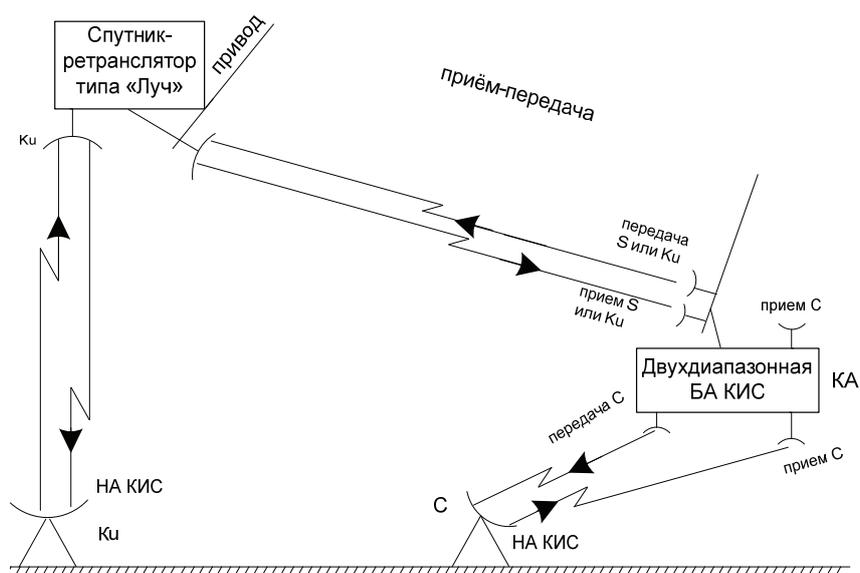


Рис. 5.1. Схема двухконтурного управления КА

Поскольку при выведении КА на ГСО его положение относительно Земли может меняться, целесообразно в БА КИС-2 использовать неподвижные антенны с широкой диаграммой направленности ($\sim \pm 70^\circ$) для уверенных приема и передачи информации.

При неориентированном режиме полета КА на опорной и переходной орбитах управление осуществляется двумя контурами управления БА КИС в С- и S- или Ku-диапазонах частот, приемные и передающие антенны располагаются на противоположных сторонах КА по оси X, т.е. их диаграммы направлены по «+X» и «-X».

В ориентированном режиме полета КА на ГСО связь БА КИС-2 с НКУ осуществляется по контуру управления С-диапазона.

Переключение БА КИС-2 для ее радиосвязи с одного СР на другой осуществляется программным способом путем изменения адреса в кадре посылки телеметрической информации.

При построении БА КИС-2 возникает ряд проблемных вопросов, основные из них:

- автономность работы БА КИС-2;
- выбор функциональной схемы, минимизирующей массу, энергопотребление и время парирования отказов при обеспечении максимального времени безотказной работы;
- выбор типов сигналов для связи НА КИС и СР с КА;
- выбор типов приемной и передающей антенн КА для связи с СР;
- выбор мощности передатчика для связи по линии КА–СР;
- выбор электронной компонентной базы и снижение стоимости.

Следует отметить, что задача обеспечения автономной работы БА КИС является одним из залогов обеспечения надежности функционирования любого КА. В БА КИС-2 возникают своеобразные соблазны отказа от автономности работы БА КИС. В частности, в качестве одного из аргументов приводится тот, что первый контур управления является не единственным, а дополнительным и, следовательно, его отказ не обязательно должен привести к потере КА в случае каких-либо одновременных с отказом одного из контуров управления БА КИС нештатных ситуаций. По этой причине его можно было бы объединить с системами передачи целевой информации, разделяя их в рамках кадра или через квадратурные устройства передачи данных. При этом можно уменьшить число АФС.

Однако такой подход все же таит в себе определенные риски при движении КА как на опорной, так и на переходной орбитах, так как без второго контура управления резко сокращается зона радиовидимости по радиолиниям «НА КИС-СР-Борт». В двухдиапазонной автономной БА КИС решается задача обеспечения надежности управления КА.

При выборе структурной схемы следует учитывать типы сигналов для связи по радиолиниям «Земля-СР-Борт» и «Земля-Борт». В случае, когда эти типы сигналов одинаковы, целесообразно в БА КИС выделять цифровую часть в «цифровое ядро», к которому подключаются периферийные приборы – приемо-передающие устройства (ППУ) и усилители мощности (УМ) разных диапазонов. При этом цифровой приемник (ЦПРМ) входит составной частью в «цифровое ядро» и габариты и масса БА КИС – минимальные.

В случае использования сигналов в разных контурах управления разных типов, при которых приходится применять разные ЦПРМ для каждого контура управления, ЦПРМ следует интегрировать с ВЧ-периферийными приборами, при этом масса БА КИС и габариты возрастают.

Таким образом, целесообразно строить БА КИС-2 на одном типе сигналов во всех примененных радиолиниях.

При проектировании БА КИС-2 следует задаться типами приемных и передающих антенн для каждого контура управления. Очевидно, что для радиолиний типа «Земля-Борт» нет смысла изменять тип приемных и передающих антенн, поскольку этот контур управления, в частности, в С-диапазоне реализован при работе с НА КИС в части приема сигналов разовых команд и командно-программной информации КА, передачи с Борта квитанций о выполнении команд и телеметрической информации. Энергетические расчеты показали, что при этом достаточно иметь мощность передатчика КА порядка 10 Вт в неориентированном режиме работы и 1-2 Вт в ориентированном режиме.

Таким образом, на САС 10-15 лет целесообразно использовать маломощный передатчик, а в первые месяцы после запуска – мощный.

Такое техническое решение для усилителя мощности состоит в том, что в дублированный усилитель мощности введен дополнительно переключатель как для переключения резервированных узлов УМ, так и для переключения выходной мощности УМ.

При работе по радиолиниям типа «Земля-СР-Борт» наиболее узким местом является мощность передатчика КА, так как малонаправленная антенна КА не может обеспечить большой коэффициент усиления. В этом случае особенно предпочтительно использовать в радиолиниях структуру сигналов типа CCSDS, которые, как отмечалось выше, имеют энергетический выигрыш по сравнению с сигналами типа «Т-Б».

Как следует из энергетических расчетов при условии передачи минимальной скорости для телеметрической информации (порядка 1 кбит/с), мощность передатчика БА КИС КА не превышает 20 Вт.

Минимальная скорость передачи телеметрической информации (ТМИ) порядка 1 кбит/с приемлема для неориентированного режима КА, поскольку на этапе выведения КА на требуемую орбиту основные системы КА отключены и ТМИ сводится к информации о состоянии служебных систем КА, включая БА КИС-2.

С учетом путей решения проблемных вопросов БА КИС-2 для КА, выводимого на ГСО, можно проектировать две функциональные схемы БА КИС с АФС.

На рис. 5.2 показана функциональная схема БА КИС-2 для однопольных сигналов в радиолиниях («Т-Б» или «CCSDS») (приведен вариант для Ku-диапазона в межспутниковой радиолинии).

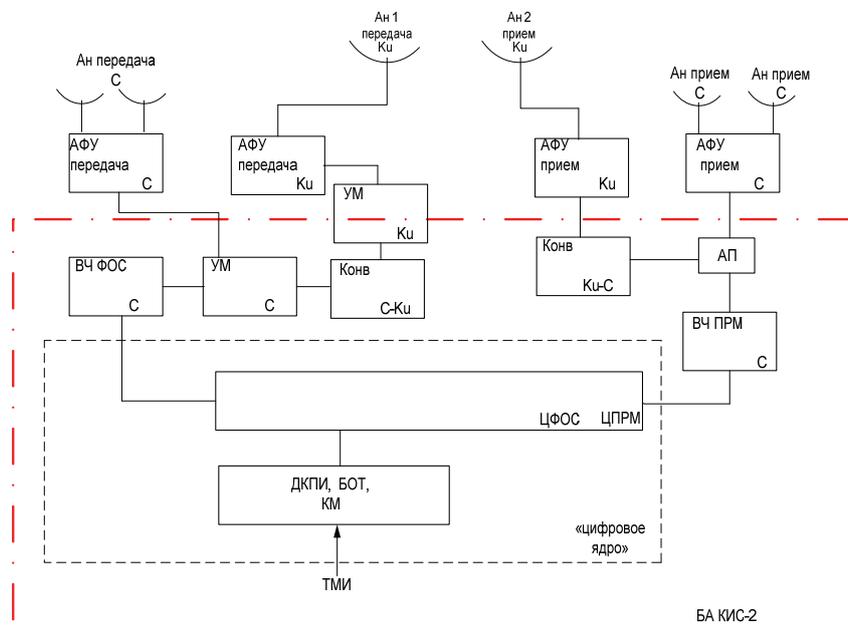


Рис. 5.2. Функциональная схема БА КИС-2 для одноплатных сигналов в радиолниях

На рис. 5.2 введены следующие дополнительные обозначения:

- Ан – антенна;
- АФУ – антенно-фидерное устройство;
- ВЧ ФОС – высокочастотный формирователь ответного сигнала;
- Конв – конвертер;
- АП – антенный переключатель;
- ВЧ ПРМ – высокочастотный приемник;
- ЦФОС – цифровой формирователь ответного сигнала;
- ДКПИ – декодер разовых команд и командно-программной информации;

БОТ – блок обработки телеметрии;

КМ – коммутационная матрица.

Ее базовым блоком является цифровое «ядро», к которому присоединяются периферийные ВЧ-приборы: ВЧ ФОС, УМ, конв. С-Ku, УМ Ku, ВЧ ПРМ, конв. Ku-C.

Для переключения контуров управления по внешней команде предусмотрен АП.

На рис. 5.3 приведена функциональная схема БА КИС-2 для разнотипных сигналов в радиолиниях («Т-Б» или «CCSDS»). Ее отличие от функциональной схемы, изображенной на рис. 5.2, заключается в увеличении числа периферийных приборов и уменьшении интеграции «цифрового ядра». Положительным качеством такой схемы построения следует признать возможность переключения потоков информации с одного контура управления на другой с помощью программных средств (адрес в кадре) без применения АП.

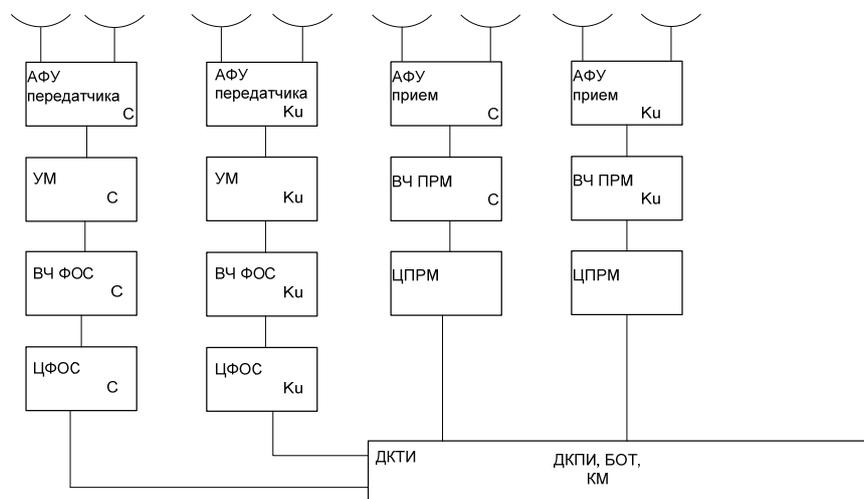


Рис. 5.3. Функциональная схема БА КИС-2 для разнотипных сигналов в радиолиниях

Общим характерным признаком для обоих методов построения БА КИС-2 является желательность выполнения УМ С-диапазона для радиолинии «Земля-Борт» с переключением выходной мощности.

При этом мощность, потребляемая БА КИС с момента перехода КА в ориентированный режим, уменьшается с 80 до 55 Вт.

По предварительным оценкам масса БА КИС без АФУ не должна превысить 30 кг.

Другая особенность представленных схем БА КИС-2 заключается в возможности построения приборов Ку-диапазона на ЭКБ, в частности, ИП уровня качества Industrial в отличие от С-диапазона, где для САС 15 лет необходимо применять ЭРИ с уровнем качества Space и Military. Это обусловлено сравнительно малым САС для приборов Ку-диапазона БА КИС-2 и целесообразно, так как при использовании относительно дешевой ЭКБ уменьшается стоимость оборудования БА КИС-2.

Выводы

Рассмотрены особенности построения и перспективы создания двухдиапазонной БА КИС-2, предназначенной для КА, выводимых на ГСО с помощью апогейных двигателей. Приведены варианты функциональных схем. Показаны преимущества БА КИС-2 перед другими способами построения управляющих систем КА:

- автономность;
- малые габариты и масса;
- уменьшенное энергопотребление;
- снижение стоимости.

5.2. Программная интеграция функций дешифратора командно-программной информации и блока обработки телеметрии бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в одной ПЛИС

Е.А. Воронков, В.Г. Алыбин, К.В. Демкин

Основными задачами, стоящими перед создателями бортовой аппаратуры командно-измерительных систем (БА КИС) космических аппаратов (КА), были и являются уменьшение габаритов, массы, энергопотребления, повышение вероятности безотказной работы при увеличении срока активного существования.

Одним из приемов, обеспечивающих решение этих задач, служит интеграция нескольких приборов БА КИС в одном, причем наиболее эффективным методом является программная интеграция функций приборов, которые в прошлом выполняли разные задачи.

Данная работа посвящена первому этапу – программной интеграции двух из четырех приборов низкочастотной части БА КИС – дешифратора командно-программной информации (ДКПИ) и блока обработки телеметрии (БОТ).

ДКПИ принимает с приемо-передающего устройства (ППУ) информацию, поступающую с наземной станции КИС (НС КИС). На дешифратор поступают разовые команды (РК), которые исполняются сразу после приема непосредственно в БА КИС, и командно-программная информация (КПИ), предназначенная для бортового комплекса управления (БКУ).

В режиме преобразования информации (ПИ) вся посылка РК или КПИ проходит процедуру преобразования информации в соответствующем блоке преобразования информации (БПИ). Преобразованная в БПИ квитанция на прохождение РК или КПИ выдается в ДКПИ и далее через ППУ на НС КИС.

БОТ принимает телеметрическую информацию (ТМИ) от бортовой аппаратуры телесигнализации (БАТС) и после обработки в БПИ сформированный телеметрический кадр передает на ППУ и далее на НС КИС. ТМИ, выдаваемая на НС КИС, прерывается на время прохождения квитанции о приеме РК или КПИ.

Информационные интерфейсы между приборами БА КИС представлены на рис. 5.4.

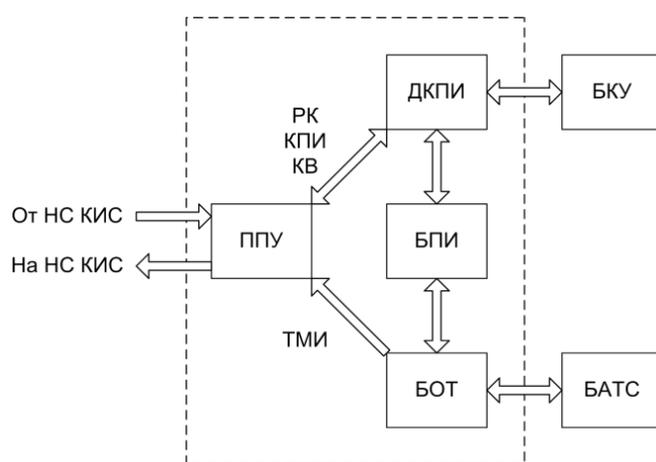


Рис. 5.4. Структурная схема информационных интерфейсов БА КИС

На рис. 5.5 представлены применяемые в настоящее время интерфейсы между ДКПИ-БПИ и БОТ-БПИ. На рис. 2 Введены следующие обозначения: НИ – непреобразованная информация; ПИ – преобразованная информация; КОД 0 – нули информации; КОД 1 – единицы информации; НК – начало кадра; Ft – тактовые импульсы; TD – передаваемые данные; RXD – принимаемые данные.

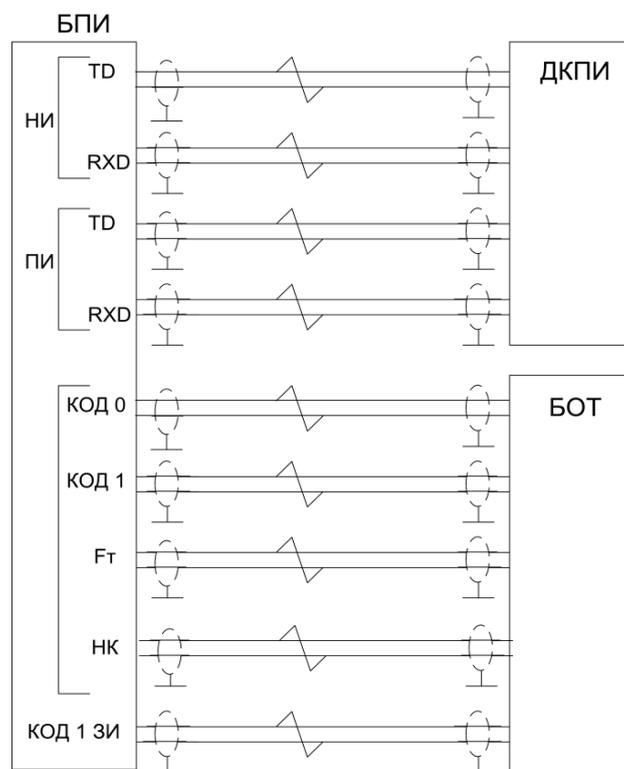


Рис. 5.5. Интерфейсы ДКПИ-БПИ и БПИ-БОТ

В обмене информацией между ДКПИ и БПИ применяется модифицированный интерфейс RS232M, который отличается от классического использованием трансформаторных линий связи с гальванической развязкой, причем НИ и ПИ передаются по разным линиям связи.

Для передачи данных на физическом уровне используются короткие импульсы (рис. 5.6), причем при смене единицы на нуль в линии используется положительный импульс, а при смене нуля на единицу – отрицательный импульс. Амплитуда импульсов находится в пределах от 2 до 3 Вт, что может быть недостаточно для работы в условиях помех.

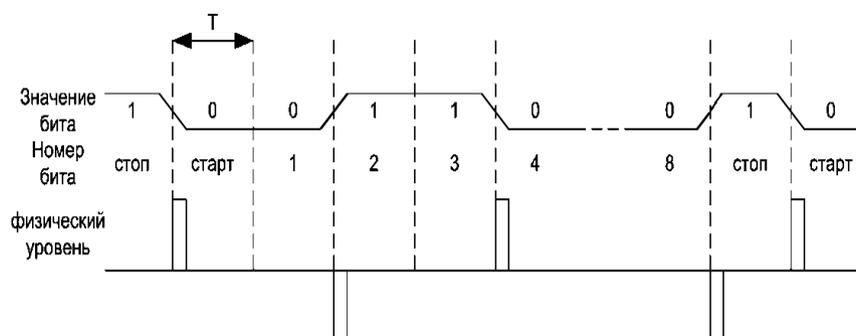


Рис. 5.6. Физический уровень обмена ДКПИ-БПИ

Телеметрическая информация поступает с БОТ на БПИ непрерывно в виде сигналов «КОД 0» и «КОД 1», в сопровождении «Гт» (см. рис. 5.5). Начало каждого телеметрического кадра сопровождается сигналом «НК». После обработки непрерывный поток преобразованной ТМИ возвращается по каналу «КОД 1 ПИ». Амплитуда импульсов в данном интерфейсе от 6 до 9 Вт, поэтому с точки зрения помехозащищенности он выглядит предпочтительнее по сравнению с интерфейсом ДКПИ-БПИ. Однако количество линий связи велико для двунаправленного интерфейса.

Перечисленные интерфейсы конструктивно состоят из четырех кабелей, соответственно по четыре разъема на каждом приборе, при этом в каждом приборе размещены по девять интерфейсных трансформаторных каскадов, которые занимают большую площадь на платах трех приборов.

Проведенный анализ используемых интерфейсов обмена на ДКПИ-БПИ и БОТ-БПИ на возможность объединения ДКПИ и БОТ показал, что в этом случае интегрированный прибор – дешифратор командной и телеметрической информации (ДКТИ) должен иметь единый двунаправленный интерфейс с БПИ во всех режимах работы бортовой аппаратуры (рис. 5.7).

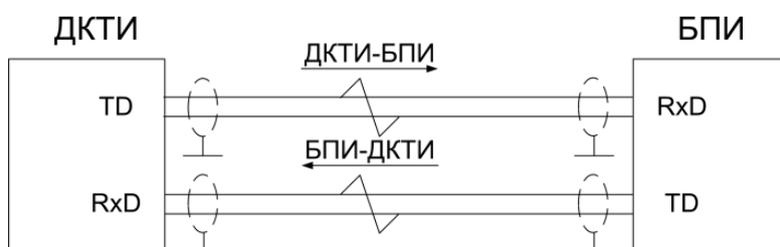


Рис. 5.7. Интерфейс ДКТИ-БПИ

Данные передаются короткими импульсами, формируемыми в начале каждого нулевого бита, в соответствии с рис. 5.8. Амплитуда формируемых в начале каждого нулевого бита импульсов составляет от 6 до 9 Вт, что аналогично остальным протоколам обмена и достигается благодаря использованию импульсов одинаковой полярности, в отличие от старого интерфейса ДКПИ-БПИ.

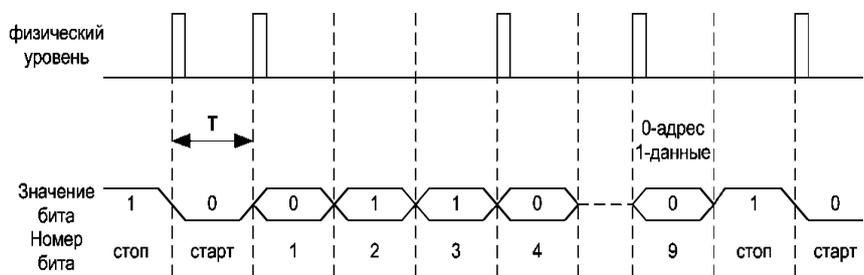


Рис. 5.8. Физический уровень обмена ДКТИ-БПИ

На рис. 5.9 представлена структурная схема БА КИС, в состав которой входят ДКТИ, ППУ и БПИ. Преобразованные РК и КПИ поступают из ДКТИ в БПИ по прямому каналу, непреобразованные РК и КПИ возвращаются из БПИ в

ДКТИ по обратному каналу. Квитанции на прохождение разовых команд или КПИ из ДКТИ поступают в БПИ по прямому каналу, возвращаются в виде преобразованной квитанции по обратному каналу.

Непреобразованная ТМИ поступает из ДКТИ в БПИ по прямому каналу, преобразованная ТМИ возвращается из БПИ в ДКТИ по обратному каналу. Таким образом, преобразованная и соответствующая ей непреобразованная информация будут передаваться по одному двунаправленному каналу, но в разное время и обрабатываться в одной ПЛИС.

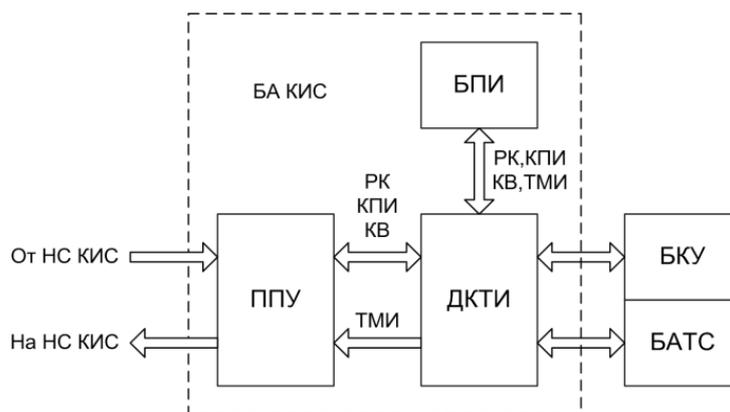


Рис. 5.9. Новая структурная схема информационных интерфейсов БА КИС

Режимы исполнения РК и передачи КПИ разделены по времени, а телеметрические кадры прерываются в случае выдачи квитанций на прохождение РК и КПИ, поэтому объединение каналов возможно при использовании в начале информационного пакета адресного слова, определяющего тип информации и соответствующий ему режим работы аппаратуры.

На рис. 5.10 показана структурная схема ПЛИС ДКТИ и введены следующие обозначения: ОЗУ1 и ОЗУ2 ТМИ – оперативные запоминающие устройства для поочередной выдачи телеметрической информации; ИСП РК – программный модуль исполнения разовой команды.

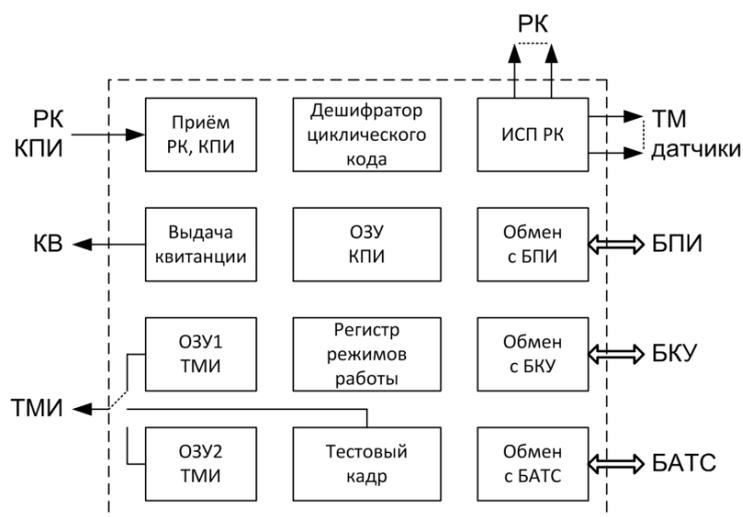


Рис. 5.10. Структура ПЛИС ДКТИ

На рис. 5.10 видно, что для выполнения функций БОТ в ПЛИС ДКТИ используются два ОЗУ, емкостью по 4421 бит, которые поочередно накапливают и выдают ТМ кадр на ППУ. Если один из режимов телеметрии включен, а информация от БАТС не поступает ни по основному, ни по резервному каналам, то ДКТИ выдает на ППУ тестовый кадр.

После приема от ППУ РК на включение одного из режимов телеметрии (1кГц, 8кГц или 32кГц) в ДКТИ должен запомниться режим работы прибора на соответствующем регистре. Использование регистра состояний вместо реле по-

зволило уменьшить массово-габаритные параметры аппаратуры, так как ранее для запоминания режима использовались три поляризованных реле, включенных по мажоритарному принципу, а для переключения режимов работы применялись силовые команды, которые передавались между приборами по дополнительным кабелям с соединителями.

Использование внутренних регистров ПЛИС для запоминания режима работы не увеличивает массово-габаритные параметры ДКТИ, но необходимо учитывать, что в ПЛИС не сохраняется состояние регистров после выключения питания, и в случае переключения комплектов необходимо повторить команду на включение соответствующего режима работы аппаратуры.

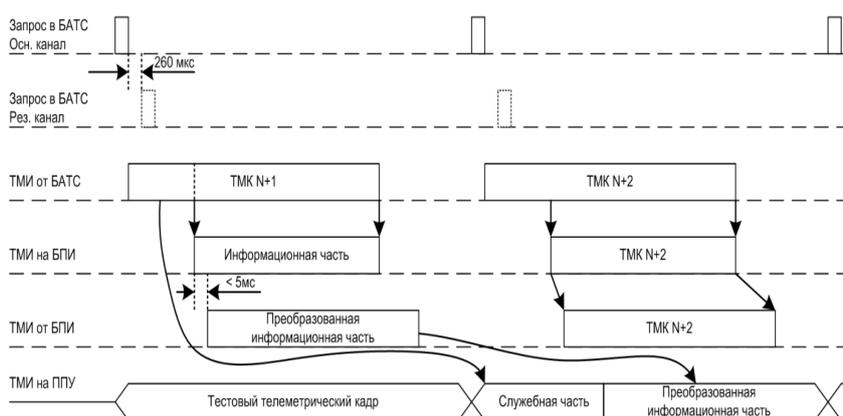


Рис. 5.11. Формирование телеметрических кадров в ДКТИ

Работа ДКТИ в режиме формирования телеметрических кадров осуществляется циклически в соответствии с рис. 5.11. Период цикла равен длительности одного кадра телеметрии на соответствующей скорости передачи. В начале каждого цикла ДКТИ формирует запрос ТМИ от БАТС

по основному каналу, а при отсутствии ответа в течение 260 мкс – по резервному каналу. Одновременно с этим из модуля выдачи тестового кадра на ППУ поступает синхропосылка и заполненный нулями телеметрический кадр.

Принятый телеметрический кадр в режиме без преобразования информации аппаратуры заполняет одно из двух ОЗУ ТМИ без изменений. В режиме преобразования информации служебная часть телеметрического кадра записывается в память, а информационная часть передается в БПИ для преобразования, а затем возвращается в ДКТИ после обработки с задержкой менее 5 мс и сохраняется в одном из ОЗУ ТМИ.

В следующем цикле ДКТИ начинает выдавать на ППУ сформированный телеметрический кадр и формирует запрос на очередную порцию ТМИ от БАТС, и весь цикл повторяется. Если во время работы ДКТИ в режиме сброса телеметрии с ППУ поступит РК или КПИ, то режим ТМИ прервется на время обработки информации с последующим восстановлением.

Исключение одного из приборов без потери функциональности приносит очевидный выигрыш в стоимости разработки, изготовления, проведения испытаний. Надежность аппаратуры повышается за счет уменьшения числа элементов системы. На рис. 5.12 представлена схема, показывающая конструктивные преимущества программной интеграции в одной ПЛИС функций приборов ДКПИ и БОТ.

На рис. 5.12 введены следующие сокращения: ПК – прямой канал борт–Земля; ОК – обратный канал Земля–борт; РКЖ – команды переключения режимов работы БОТ; ВКЛ – включение комплектов БОТ; ПИТ – питание БОТ.

Пунктирной линией обведены связи между приборами, которые удалось исключить из бортовой аппаратуры благодаря программной интеграции. Ранее на БОТ с ДКТИ поступали силовые команды переключения комплектов (ВКЛ) и режимов работы аппаратуры (РЕЖ), питание (ПИТ). Между

БОТ и БПИ использовались многочисленные информационные связи (КОД 1, КОД 0, Fт, НК, КОД 1 ПИ в соответствии с рис. 5.2). После интеграции все перечисленные связи и БОТ были исключены.

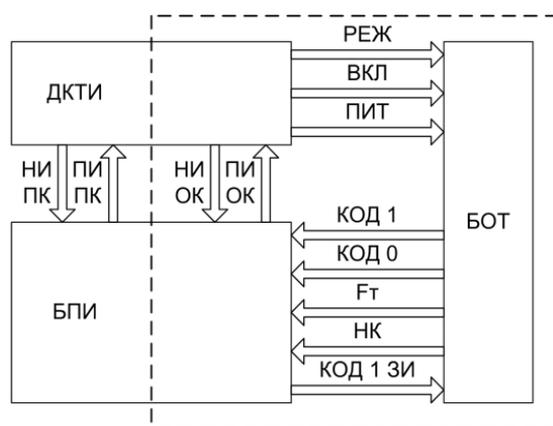


Рис. 5.12. Обобщенная структурная схема БА КИС

Также применение нового интерфейса позволило уменьшить количество связей между ДКТИ и БПИ. Пространственное разделение каналов НИ и ПИ, ПК и ОК было заменено на пространственно-временное.

В настоящее время проведена разработка конструкторской документации ДКТИ. По проведенным расчетам удалось уменьшить массу аппаратуры более чем на 3 кг. Перспективой дальнейшего усовершенствования БА КИС является программная интеграция функций приемопередающего устройства – цифрового приемника и формирователя ответного сигнала с ДКТИ.

Одновременно с программной интеграцией проводится конструктивно-компоновочная интеграция тех отдельных приборов низкочастотной части БА КИС, которые по разным причинам не могут быть интегрированы программным спо-

собом. Это, в частности, касается интеграции в одном корпусе ДКТИ и БПИ, что может дать сокращение по массе низко-частотной БА КИС на 20% за счет сокращения числа разъемов, массы корпусов и кабельной сети.

Выводы

Рассмотрен алгоритм программной интеграции в одной ПЛИС функций дешифратора командно-программной информации и блока обработки телеметрии. Показано существенное сокращение количества интерфейсов между интегрированным прибором и средствами преобразования информации. Разработана конструкция интегрированного дешифратора командной и телеметрической информации. Достигнуто уменьшение массы ДКТИ на 3 кг, т.е. в полтора раза по сравнению с прежним вариантом ДКПИ + БОТ.

5.3. Многоканальное аппаратно-программное устройство регистрации цифрового потока

О.В. Бекренев, С.Ю. Домрачев, А.В. Табенков

Представлено многоканальное устройство ввода цифровых сигналов в память ЭВМ, называемое «Коллектор каналов КК2Х1L-USB» (далее – КК2Х1L-USB), использующее универсальный последовательный интерфейс USB.

При разработке КК2Х1L-USB ставилась задача создания недорогого, надежного, скоростного, многоканального устройства сопряжения источников цифровых сигналов (демодуляторов) с ЭВМ. Характеристики разрабатываемого устройства выбирались из расчета максимального соответствия нуждам типового приемного комплекса, осуществляющего прием данных с отечественных спутников ДЗЗ, находящихся на орбите в настоящий момент и планируемых к запуску в ближайшем будущем.

А именно, по скорости, за основу был взят демодулятор 1БДВ-КЗУ, на базе которого строятся приемные комплексы Ресурс-ДК №1, Канопус-В и Ресурс-П.

1БДВ-КЗУ позволяет принимать данные на символьных скоростях до 80 МГц и обеспечивает пропускную способность 160 Мбит/с, что и определило требования по скорости каждого из каналов.

Типовой приемный комплекс обычно комплектуется двумя демодуляторами X-диапазона типа 1БДВ-КЗУ и одним демодулятором L-диапазона, что определяет максимальное количество каналов (устройств), с которых необходимо обеспечить ввод цифровых данных.

Для достижения требуемой скорости передачи данных и в связи с универсальностью был выбран USB2 интерфейс. Данный интерфейс позволяет подключать к выходу устройства КК2Х1L-USB широкий спектр ЭВМ, работающий под управление ОС Microsoft Windows без установки дополнительных интерфейсных плат. Кроме того, через USB2 интерфейс возможно осуществление программного управления, программирования конфигурации микросхемы ПЛИС и питания устройства КК2Х1L-USB.

КК2Х1L-USB реализован на базе универсального модуля ХЕМ3010 фирмы Opal Kelly (США), который содержит в себе большую программируемую логическую интегральную схему ПЛИС (Spartan-3 FPGA, XILINX), микросхему памяти SDRAM размером 32 Мбайт, синтезатор частот PLL, контроллер USB и два разъема XBUS и YBUS для подключения платы расширения (рис. 5.13).

КК2Х1L-USB имеет пять физических входов данных, объединенных в три логических канала – А, В и С (рис. 5.14). Каналы А и В имеют по два входа каждый специально для подключения демодуляторов X-диапазона. Канал С имеет один вход для подключения демодулятора L-диапазона. Каждый вход – это две пары LVDS (по одной паре вводится сигнал данных, по другой – тактовый сигнал), а также линия

напряжения питания, если выход подключаемого источника не LVDS (для питания конвертера). Эти пять входов конструктивно идентичны и их назначение определяется микропрограммой, закладываемой в ПЛИС.

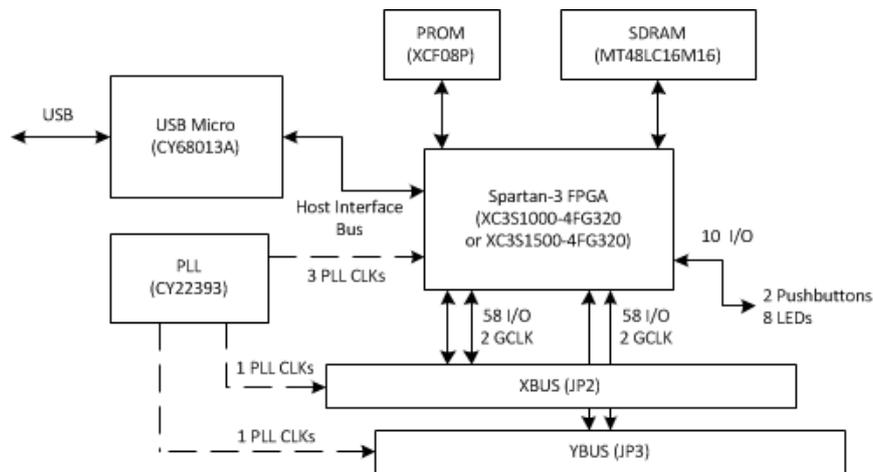


Рис. 5.13. Блок-схема универсальной платы XEM3010

Микропрограмма *.bit, разработанная для устройства КК2Х1L-USB, использует все пять входов, распределяя их по входным каналам. Микропрограмма устройства КК2Х1L-USB выполняет преобразование потока битов от каждого канала в поток 16-разрядных слов, далее потоки слов оформляются в каналные пакеты длиной 512 слов и записываются в большом выходном буфере, вмещающем 32768 каналных пакетов. Пакеты разных каналов поступают в буфер по мере накопления необходимого количества данных на входе соответствующего канала, из-за чего пакеты разных каналов хранятся в буфере в «перемешанном» виде. Для достижения

максимальной скорости передачи данных в ЭВМ необходимо осуществлять передачу по USB большими пакетами, размером до 8 Мбайт. Большой выходной буфер устройства КК2Х1L-USB позволяет достичь практического потолка скорости передачи данных в 250 Мбит/с. Процессом передачи пакетов из устройства КК2Х1L-USB в ЭВМ управляет СПО КК2Х1L-USB, функционирующее в ЭВМ под управлением ОС Windows. СПО КК2Х1L-USB, используя драйверы, поставляемые с ХЕМ3010, делает запросы на пересылку данных в режиме «bulk transfers» пакетами до 8 Мбайт. Размер пакетов выбирается динамически в зависимости от скорости заполнения большого выходного буфера устройства КК2Х1L-USB, что обеспечивает максимальную скорость при большой нагрузке и позволяет избежать больших пауз между пакетами при малых нагрузках.

Кроме того, СПО КК2Х1L-USB сортирует переданные каналные пакеты, производит контроль сквозных номеров каналных пакетов на предмет выявления нарушения целостности передаваемой информации, извлекает данные из каналных пакетов и сохраняет их в оперативной памяти ЭВМ в динамических массивах фрагментами по 10 секунд, где они ожидают своей записи на диск в виде десятисекундных файлов (рис. 5.15).

Количество фрагментов, находящихся в очереди на запись на диск, ограничивается только объемом свободной оперативной памяти ЭВМ. Такая схема регистрации, при наличии достаточного места в оперативной памяти ЭВМ, практически исключает потерю принимаемой информации из-за отказов файловой системы ЭВМ во время пиковых перегрузок, вызванных загрузкой файловой системы ЭВМ со стороны других процессов.

Однако перегрузка файловой системы приведет к задержке в регистрации данных на диск и соответственно к задержке обработки данных в режиме «онлайн».

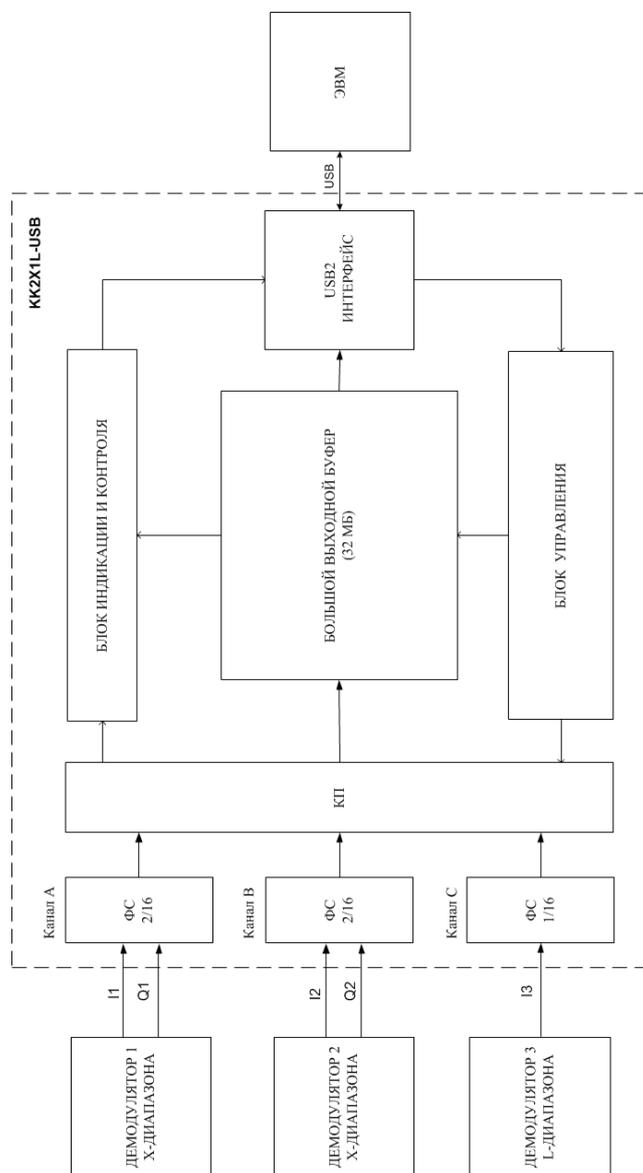


Рис. 5.14. Структурно-функциональная схема аппаратного модуля Коллектора каналов

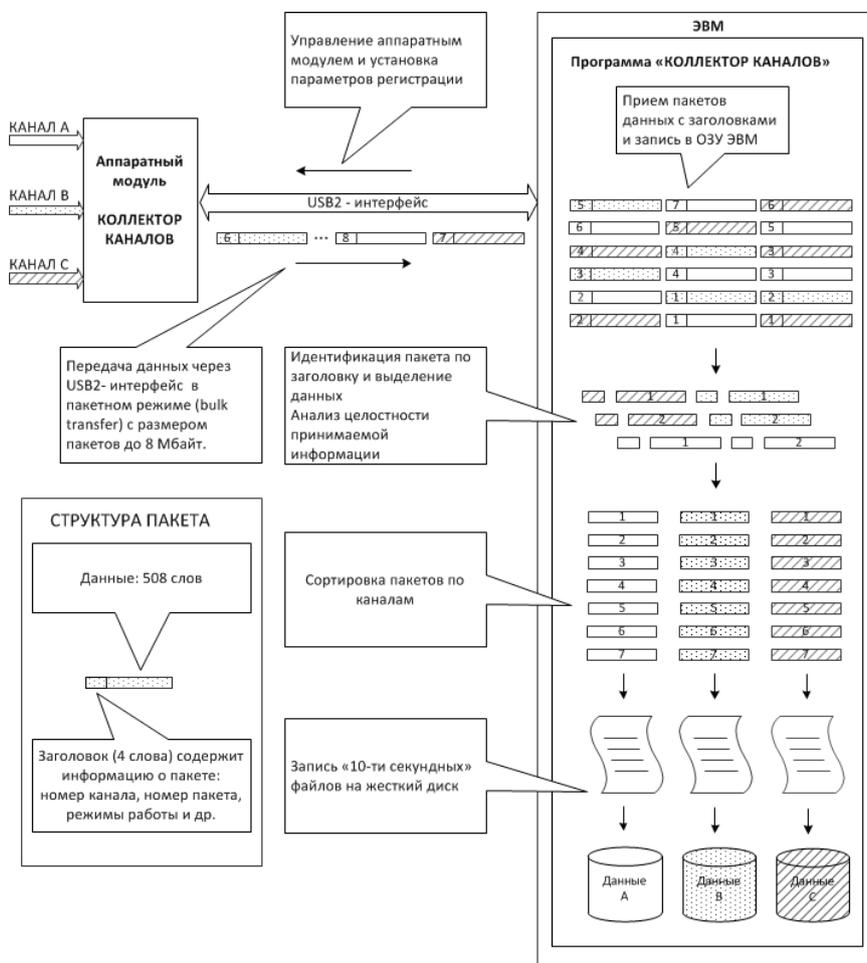


Рис. 5.15. Схема, поясняющая работу СПО Коллектора каналов:
 ФС 2/16 – формирователь слов (преобразователь 2/16 бит);
 ФС 1/16 – формирователь слов (преобразователь 1/16 бит);
 КП – контроллер пакетов; СПО – специальное программное обеспечение;
 ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема;
 ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли;
 УРС – универсальная регистрирующая система;
 ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
 УДК 519.24.001:512,643,5

Следует отметить, что КК2Х1L-USB является устройством типа коллектор каналов, т. е. оно удовлетворяет требованиям УРС-системы, разработанной в НЦ ОМЗ и применяемой в приемных комплексах центра. Согласно идеологии УРС, информация до фиксации на диск не должна подвергаться никакой обработке или ее обработка должна быть ограничена до необходимого минимума. Данный принцип, по убеждению разработчиков УРС, исключает потери информации из-за сбоев и ошибок, возникающих в аппаратуре и программах обработки, перенося возможные проблемы обработки на момент, когда информация уже сохранена и может быть обработана повторно. Кроме того, КК2Х1L-USB полностью интегрируется в систему автоматического управления приемными комплексами, разработанную НЦ ОМЗ

КК2Х1L-USB при своей простоте удовлетворяет настоящим требованиям типовых приемных комплексов, обладает высоким потенциалом модернизации и возможностью перехода (миграции) с интерфейса USB на PCI-express для увеличения пропускной способности в несколько раз.

Результатом практического применения Коллектора каналов стало его использование в штатном режиме на приемном комплексе НЦ ОМЗ для приема информации с отечественных и зарубежных космических аппаратов ДЗЗ. Потенциал Коллектора каналов позволяет использовать его и в других областях науки и техники.

5.4. Синтез отказоустойчивых систем интегральной модульной авионики (ИМА)

А.А. Авакян

При синтезе отказоустойчивых систем авионики по концепции ИМА (ДО-297) [1], в частности при разработке БРЭО ЛА гражданской и деловой авиации, должны быть достигнуты следующие цели:

- выполнение требований норм летной годности [4] и регулярности полетов [5];
- минимальные затраты на создание и техническую эксплуатацию БРЭО;
- максимальная унификация аппаратуры и программных средств;
- многоуровневая прозрачная модульность при жесткой сегментации модулей (декомпозиция сложной системы на независимые, но взаимосвязанные части);
- поэтапная модернизация. Система должна быть спроектирована так, чтобы приложения могли устанавливаться или изменяться с минимальным влиянием на другие приложения и на безопасность.

Для достижения этих целей необходимо обеспечить следующие характеристики БРЭО ЛА:

- она должна обладать отказоустойчивостью, позволяющей реализовать ее эксплуатацию в межрегламентный период без технического обслуживания – принцип MFOPS (Maintenance Free Operating Periods);
- архитектура БРЭО должна состоять из следующей иерархии элементов ИМА принятой в концепции [1, 2]:
 - компонент ИМА;
 - модуль ИМА;
 - платформа ИМА;
 - аппаратное приложение ИМА;
 - программные приложения ИМА;
 - система (подсистема) ИМА – платформа ИМА с определенным набором поддерживаемых приложений;

Однако в ДО-297 нет ни требований по MFOPS, ни рекомендаций как ее реализовать. Работы по реализации необслуживаемой авионики за рубежом находятся в стадии разработки при строжайшей конспирации. Следовательно, работы, проводимые в этом направлении в наших организациях, крайне актуальны.

Для достижения изложенных выше целей и характеристик предлагается архитектура БРЭО, приведенная на рис. 5.16.

Особенности архитектуры:

➤ Верхней иерархией модулей структуры являются системы (подсистемы) ИМА.

➤ Система (подсистема) ИМА интегрируют выполнение множества отдельных функций БРЭО ЛА, обобщенных такими функциями, как:

- измерения инерциальных и высотно-скоростных параметров;

- индикации и сигнализации;

- автоматическое управление полетом и тяга двигателя;

- навигация и самолетовождение;

- интегрированная система автоматизированного зависящего наблюдения АЗН;

- искусственный интеллект с базой знаний, включающей в свой состав:

- средства диагностического мониторинга состояний самолета и формирования действий экипажа при угрозе возникновения и возникновения особых ситуаций,

- руководства летному экипажу;

- внутрисамолетная и внешняя связи.

➤ Основной особенностью архитектуры ИМА является то, что элементом архитектуры служит не функциональный блок, как в традиционной архитектуре федерации блоков, а система (подсистема) ИМА. Блок в федеративной архитектуре реализует небольшое количество функций и связан с небольшим количеством источников информации (датчиками) и исполнительных органов. Но при этом блок содержит, мощный вычислитель, как правило, недогруженный, и мощное общесистемное математическое обеспечение. Кроме того, для обеспечения заданной надежности выполнения функции блоки резервируются и должны иметь систему управле-

ния резервированием. В системах (подсистемах) ИМА все эти функции выполняются платформой ИМА, а все источники информации и исполнительные органы интегрируются в платформу в виде аппаратных и программных приложений.

В разработанной архитектуре ИМА реализованы следующие особенности:

➤ Количество обобщенных функций «n» не должно превышать десяти (при наличии в ТЗ на ЛА более десяти обобщенных функций создается несколько комплексов БРЭО).

➤ Количество входов и выходов каждой подсистемы равно количеству систем (подсистем) БРЭО, т. е. равно «n».

➤ Системы (подсистемы) БРЭО обмениваются между собой информацией через «n» входов и выходов каждой системы (подсистемы) ИМА.

➤ Каждая система (подсистема) формирует пакеты с информацией для каждой из «n» систем (подсистем), включая и свой вход как источник обратной связи, и через каждый из «n» выходов подает ее в «n» систем (подсистем).

➤ Соединение входов и выходов каждой системы (подсистемы) с входами и выходами других систем (подсистем) осуществляется по принципу «точка в точку», т. е. без центральных коммутаторов (рис. 5.16).

➤ Каждая платформа-система (подсистема) БРЭО содержит по каждому типу интерфейса коммутаторы, выполняющие следующие функции:

- коммутация пакетов с информацией для каждой системы (подсистемы) на соответствующие входы и выходы каждой системы (подсистемы);

- коммутации аппаратных приложений системы (подсистемы) на входы платформы;

- реконфигурация архитектуры платформы и приложений при возникновении отказов, сбоев аппаратных и программных ошибок.

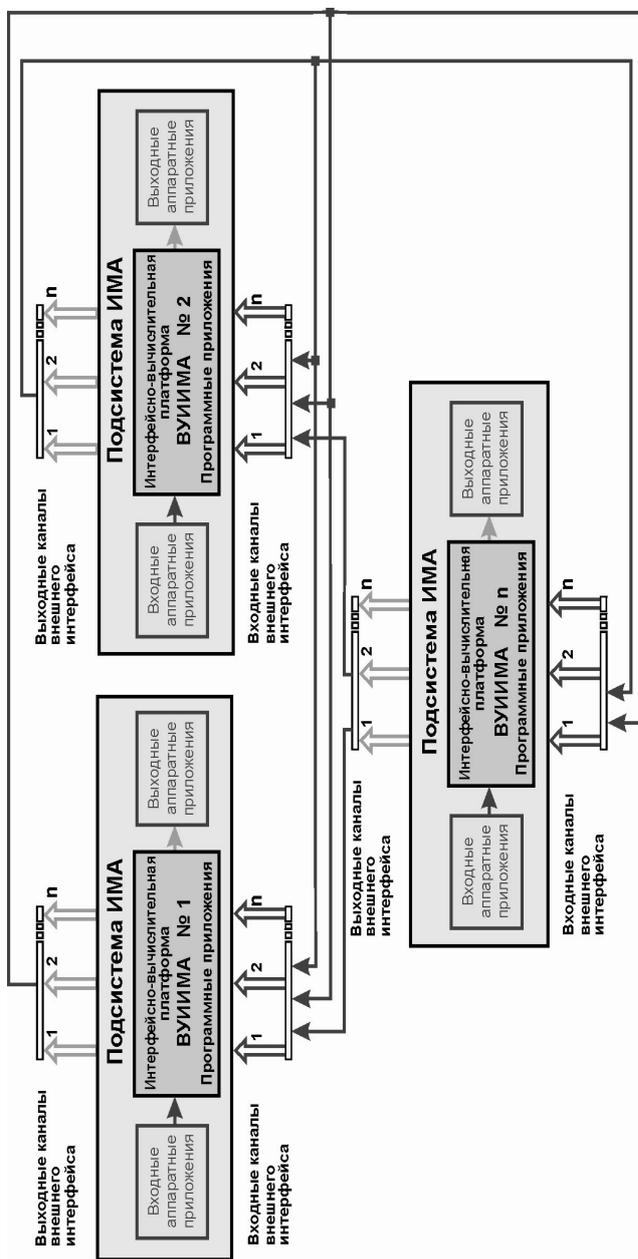


Рис. 5.16. Архитектура комплекса БРЭО ЛА

Особенностью данного подхода является обеспечение в платформе такой отказоустойчивости, которая позволяла бы обеспечить принцип MFOPS (Maintenance Free Operating Periods) на периоде между профилактическими работами на ЛА, которые проводятся на ЛА воздушных судов гражданской авиации через 500-600 летных часов. Эта цель в проекте достигается созданием в платформе системы управления избыточностью. В процессе разработки этой системы были решены следующие теоретические задачи:

– Разработка метода расчета безотказности двухуровневых избыточных систем, поскольку в классической литературе по надежности и публикациях на эту тему рассматриваются только характеристики безотказности одноуровневых резервированных систем. Двухуровневая избыточная система необходима для обеспечения безотказности в полете с интенсивностью неконтролируемого отказа, не превышающей 10^{-9} отказов в час (норма летной годности для катастрофической ситуации), и поддержания этой безотказности в течение межрегламентного периода с вероятностью, равной 0,998 (норма регулярности полетов).

– Разработка метода эффективного мажоритарного контроля на основе регрессионного фильтра.

На основе теоретических разработок безотказности избыточных систем была рассчитана необходимая избыточность интерфейсно-вычислительных трактов, определена архитектура и рассчитаны характеристики безотказности платформы. Расчеты необходимой избыточности для удовлетворения требованиям по безопасности и регулярности полетов при эксплуатации по принципу MFOPS в межрегламентный период 600 летных часов показали, что избыточная платформа должна состоять из четырех интерфейсно-вычислительных трактов.

При создании системы управления избыточностью были приняты следующие проектные решения. Все аппаратные и программные компоненты системы управления избыточностью были установлены в каждом из четырех интерфейсно-вычислительных трактов. Теория регрессионного фильтра позволила разработать систему мажоритарного контроля, состоящую из мажоритарных элементов первого и второго уровней. Посредством мажоритарных элементов второго уровня подвергаются мажоритарному контролю результаты всех видов мониторинга состояний аппаратных и программных компонент платформы и тем самым устраняется возможная неоднозначность результатов контроля выполненных в каждом тракте.

Поскольку эти оригинальные решения имеют достаточную новизну и практическую ценность, то на них была оформлена заявка на изобретение и получен патент РФ № МПК GOGF 11/00, 11/08, 11/18, 11/22 «Способ и вычислительная система отказоустойчивой обработки информации критических функций летательных аппаратов».

В результате выполненных работ были разработаны:

- Эскизный проект унифицированной, отказоустойчивой платформы ИМА для БРЭО ИМА воздушных судов гражданской авиации и самолетов деловой авиации.

- Совместно с ЗАО НТКЦ «Петрофарм» был изготовлен макет платформы, состоящий из двух интерфейсно-вычислительных трактов с интерфейсом ARINC-429. Вычислительный узел был выполнен на FPGA Xilinx Virtex-5 с встроенным двухядерным процессором PowerPC 405. Для создания приложений и драйверов в процессоры обоих трактов была встроена операционная система QNX Momentics IDE 4.0.1.

- Для отработки системы управления избыточностью сигналы нереализованных двух интерфейсно-вычислитель-

ных трактов подыгрывались в компьютере, где формировалась исходная информация и программы, управляющие процессом функционирования макета. Высокая эффективность системы управления избыточности была подтверждена при отладке макета и проведении испытаний. С помощью этой системы, особенно ее мажоритарных элементов, было выявлено множество аппаратных ошибок.

➤ Макет был продемонстрирован на МАКС 2009.

➤ Проект ТЗ на ОКР по разработке полноценного макета платформы, который планируется тиражировать в восьми экземплярах для отработки опытного образца, унифицированного для интеграции аппаратных и программных приложений восьми систем ИМА перечисленных выше обобщенных функций.

Архитектура проектируемой платформы ИМА приведена на рис. 5.17.

Избыточность системы обеспечивается четырьмя интерфейсно-вычислительными трактами, каждая из которых состоит из:

– двух коммутаторов интерфейсов ARINC-429 (выходные каналы), AFDX, Fibre Chnel;

– четырех многоканальных (входных каналов) интерфейсов ARINC-429, четырех контроллеров интерфейса CAN;

– четырех вычислительных узлов с портами интерфейсов AFDX, Fibre Chnel;

– программ технологического процесса управления избыточностью, загруженных в каждый вычислительный узел.

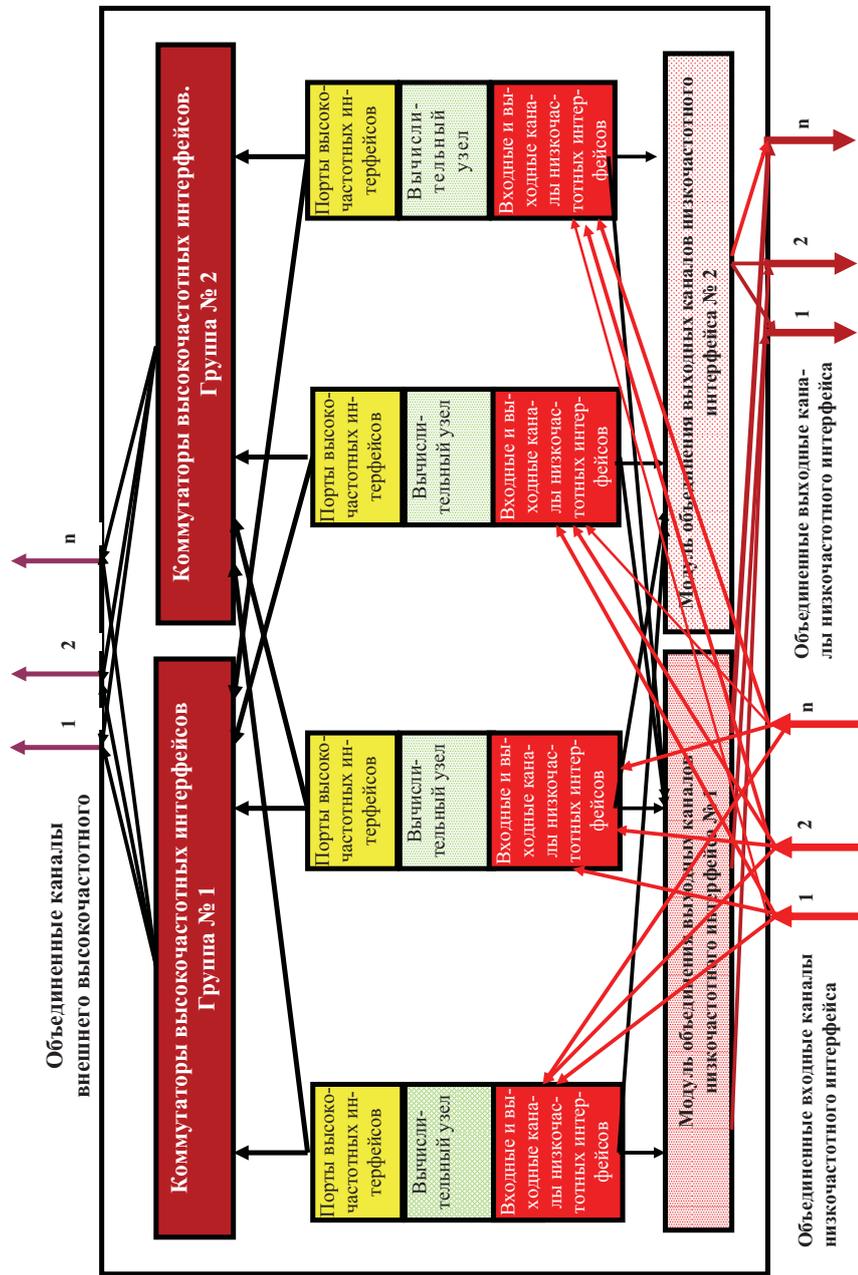


Рис. 5.17. Архитектура платформы ИМА

Вычислительный узел планируется выполнить как COTS-технология стандартного модуля nanoETХexpress-SP со следующими характеристиками (рис. 5.18):

– Процессор	Intel Atom Z510 (1,1 ГГц) или Z530 (1,6 ГГц)
– Чипсет	Intel System Controller Hub US15W
– Звуковой контроллер	Intel High Definition Audio
– Кэш	32 КБ кэш инструкций + 24 КБ L1 Cache, 512 КБ L2 Cache
– Частота процессора	от 1.1 ГГц до 1.6 ГГц
– Размеры модуля (ШхД)	55 мм x 84 мм
– Системная память	на модуле до 2ГБайт DDR2 400/533МГц
– Ethernet интегрированный	10/100/1000 Мбит Intel LAN
– Ethernet контроллер	интегрированный Intel 82574L Hartwell
– Флэш диск	интегрированный SSD Flash до 8 ГБайт
– Графический контроллер интегрированный	Intel Graphics, Intel GMA 500,
– HDTV/HD совместимый, аппаратный декодер	MPEG2(HD) / H.264
– Графическое разрешение	один канал LVDS 18/24 бита; WXGA 1366 x 768 (опция 1920 x 1080)
– Графическая память	до 256 МБайт
– PCI Express / PCI	1 x PCI Express x1 Lane (возможно 2 x 1, если без LAN)
– PCI Express / PCI	1 x PCI Express x1 Lane (возможно 2 x 1, если без LAN)
– SATA интерфейс	1x Serial ATA с поддержкой 1.5 ГБит/сек
– USB порт	8 x USB 2.0
– Загрузка с USB	да
– Поддержка шины SM	да
– Внешний интерфейс	SDIO: 1 SDIO порт (GPIO)
– Операционная система	Windows XP SP3, XPe, CE, Linux, VxWorks, QNX

- Потребляемая мощность в режиме простоя 2,8 – 3,2 Вт при 12 В
- Управление питанием ACPI 2.0 + APM S3
- Источник питания от 4,75 до 14 В
- Температура при работе: от 0° до 60 °С; при хранении: от – 30° до 85°С (возможен заказ расширенного температурного диапазона)
- Влажность при работе: от 10 до 90%;
при хранении: от 55 до 95%
(без конденсации)

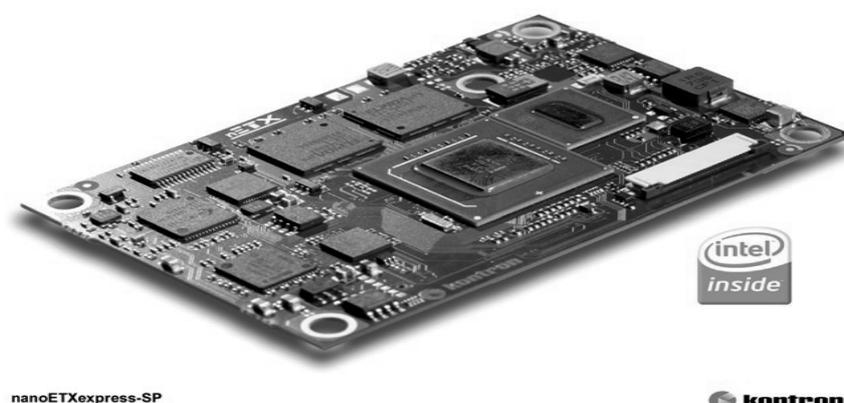


Рис. 5.18. Внешний вид модуля nanoETXexpress-SP

Входные каналы интерфейса ARINC-429, модуль объединения выходов этого интерфейса, а также интерфейсные модули (включая модули коммутаторов) интерфейсов AFDX, Fibre Chnel, CAN выполняются на ПЛИС Xilinx Virtex-5,6 с встроенным процессором **PowerPC 440**.

Для выполнения функций по выявлению аппаратных и программных ошибок, допущенных при разработке аппаратной части платформы, а также программ базового математического обеспечения и функциональных приложений, платформа должна разрабатываться следующим образом:

– функционально одинаковые аппаратные модули платформы должны иметь максимально возможные различные схемно-технические реализации;

– в каждый из четырех вычислительных модуля платформы должны быть встроены, по крайней мере, три различных операционных системы реального времени.

при перечисленных выше условиях невозможно применять традиционные методы мажоритарного контроля, требующие:

– идентичности систем не только по обрабатываемым функциям, но и аппаратному и программному исполнению;

– синхронизации сигналов, прошедших через различные системы;

– задания допуска на расхождение значений параметра, прошедших через различные системы, не всегда чувствительного к отказам системы (расширение допуска приводит к ошибкам первого рода, а его сужение – к ошибкам второго рода).

От этих недостатков свободен метод сравнения сигналов, прошедших через регрессионный фильтр. Такие фильтры реализуются в мажоритарных элементах, встроенных в каждый вычислительный модуль. В качестве критерия сравнения был выбран доверительный интервал на остаточную дисперсию регрессии. Остаточная дисперсия регрессии не зависит от изменения значений параметров, а доверительный интервал на нее не зависит от случайных флюктуаций и чувствителен только к отказам.

Метод был разработан, апробирован и запатентован в Российской Федерации [8] как «Способ и вычислительная система отказоустойчивой обработки информации критических функций летательных аппаратов». Математика метода сводится к следующему.

Гарольд Крамер [7] доказал, что статистика Ψ отношения квадратов остаточной дисперсии к ее оценке, помножен-

ная на число реализаций ансамбля C , распределена по закону χ^2 с $V = C - n - 1$ степенями свободы, т. е.:

$$\psi = \frac{(\sigma_o)^2 C}{(\sigma_{oc}(t_n))^2}, \quad (1)$$

где $(\sigma_o)^2$ – значение остаточной дисперсии параметра;
 $(\sigma_{oc})^2$ – оценка остаточной дисперсии параметра.

Плотность вероятностей распределения χ^2 определяется формулой [6, 7]

$$K_V(x) = \begin{cases} P_V(\chi^2 \leq x) & \text{при } x > 0, \\ 0 & \text{при } x \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Выражение для $P_V(\chi^2 \leq x)$ имеет следующий вид:

$$P_V(\chi^2 \leq x) = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \Gamma(\frac{V}{2})} x^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}, \quad (3)$$

где $\Gamma(\frac{V}{2})$ – гамма-функция, интегральное представление (формула Эйлера) которой для непрерывных значений z имеет следующий вид [7]:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} x^{z-1} e^{-x} dx. \quad (4)$$

Для целочисленных значений $z > 0$ имеют место следующие соотношения:

$$\Gamma(z+1) = z!, \quad 0! = \Gamma(1) = 1.$$

Введем обозначение $\frac{V}{2} = z + 1$, тогда справедливо равенство

$$\Gamma\left(\frac{V}{2}\right) = \left(\frac{V}{2} - 1\right)! \quad (5)$$

Подставив (5) в (3), получим следующую, удобную для вычислений формулу:

$$P_V(\chi^2 \leq x) = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \left(\frac{V}{2} - 1\right)!} x^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}. \quad (6)$$

На основании вышеизложенного можно записать неравенство:

$$t_{\min}(V, P_{\min}) \leq \frac{(\sigma_o)^2 V}{(\sigma_{oc}(t_n))^2} < t_{\max}(V, P_{\max}), \quad (7)$$

где t_{\min} и t_{\max} – соответственно квантили распределения (3) для вероятностей P_{\min} и P_{\max} при V степенях свободы.

Тогда доверительный интервал для оценки стандартного отклонения с вероятностью доверия, равной $P_D = P_{\max} - P_{\min}$, будет иметь вид следующего неравенства:

$$\sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{V}} \leq \sigma_o < \sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{V}}. \quad (8)$$

На основании (8) нижняя и верхняя оценки доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии соответственно имеют значения:

$$\begin{aligned} \sigma_{oc}(t_n)_H &= \sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{V}}, \\ \sigma_{oc}(t_n)_B &= \sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{V}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии определяется формулой

$$D_{ocT} = \sigma_{oc}(t_n)_B - \sigma_{oc}(t_n)_H. \quad (10)$$

Тогда условия сопоставимости и несопоставимости доверительных интервалов стандартного отклонения остаточ-

ной дисперсии параметра, прошедшего через 1-й и 2-й тракты соответственно, запишутся в виде следующих неравенств:

$$\begin{aligned} |D_{oc1} - D_{oc2}| &\leq 0,5 - \text{сопоставимо,} \\ |D_{oc1} - D_{oc2}| &\geq 0,5 - \text{несопоставимо.} \end{aligned} \quad (11)$$

Разработанная по изложенным выше принципам унифицированная отказоустойчивая платформа для функциональных подсистем интегрированных комплексов авионики воздушных судов находится на стадии испытаний и сертификации.

Выводы

1. Синтез БРЭО летательных аппаратов по традиционной архитектуре, представляющей собой федерацию блоков с выполнением норм летной годности и регулярности полетов, приводит к громоздкой сложной системе. Для технической эксплуатации таких систем необходима дорогостоящая система обслуживания со сложной системой мониторинга рабочего состояния и содержанием больших дорогостоящих обменных фондов из исправных блоков на каждом аэродроме. Работы по оценке затрат на техническую эксплуатацию комплексов БРЭО как эксплуатируемых летательных аппаратов, так и находящихся в стадии разработки показали, что отношение среднегодовых затрат на техническую эксплуатацию БРЭО соизмеримы со среднегодовыми затратами на их закупку, а в ряде случаев превосходят их в несколько раз.

2. Предлагаемая архитектура БРЭО летательных аппаратов и принятые инженерные решения по унифицированной платформе позволяют:

– создать компактный комплекс, состоящий из семи – восьми многофункциональных систем ИМА с выполнением всех требований норм летной годности и регулярности полетов;

– реализовать в нем принцип необслуживаемой авионики (MFOPS) на протяжении всего межрегламентного периода.

Пессимистические оценки затрат на техническую эксплуатацию, выполненные для БРЭО, показывают, что отношение среднегодовых затрат на техническую эксплуатацию к среднегодовым затратам на закупку БРЭО составит не более величины 0,3.

Литература

1. SC-200 © 2005, RTCA Inc. Руководство по вопросам разработки и сертификации интегрированного модульного авиационного радиоэлектронного оборудования (ИМА) ДО-297. RTCA, Incorporated, 1828 L St NW, NW, 805. – Washington, 2005.

2. Буц Х. Интегрированная модульная авионика – прямой путь к системам, устойчивым к ошибкам. Daimler Chrysler Aerospace Airbus Kreetslag 10, D-21129. – Гамбург, 2005.

3. Отчет № 187-10-VIII «Разработка унифицированного, высокопроизводительного, отказоустойчивого вычислителя для платформ ИМА интегрированных комплексов бортового оборудования (ИКБО)», ОАО «НИИ авиационного оборудования», 2010.

4. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25). – М., 1993.

5. Типовые требования к эксплуатационно-техническим характеристикам комплексов бортового оборудования гражданских магистральных самолетов, самолетов МВЛ и авиации общего назначения. Утверждена заместителем директора ГосНИИ «Аэронавигация В.Я. Кушельманом 10 мая 1994 г.

6. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965.

7. Гарольд Крамер. Математические методы статистики / Под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: Мир, 1973.

8. МПК GOGF 11/00, 11/08, 11/18, 11/22 «Способ и вычислительная система отказоустойчивой обработки информации критических функций летательных аппаратов».

VI. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ДАТЧИКОВАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ РКТ И ДРУГОЙ ТЕХНИКИ

6.1. Внедрение волоконно-оптических средств измерений на летательных аппаратах – качественный скачок отечественной информационно-измерительной техники

*А.В. Гориш, Т.И. Мурашкина,
А.Г. Пивкин, И.С. Рубцов*

Возросший поток обрабатываемой и передаваемой информации на объектах специальной техники предопределили необходимость изыскания новых подходов в построении их информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС). В России ведутся интенсивные разработки в области создания внутриобъектовых волоконно-оптических ИИУС (ВОИИУС), обеспечивающих более эффективное использование информации о состоянии объекта в сравнении с традиционными ИИС в условиях воздействия сильных электромагнитных помех и повышенной пожаро-, искро- и взрывоопасности, так как используют в качестве передающей физической среды оптические волокна.

Снижение веса летательных аппаратов (ЛА) всегда стояло на первом месте среди прочих требований. Совершенствование существующих электрических ИИС не ведет к решению данной проблемы, так как их резервы в части снижения веса практически исчерпаны. Внедрение ВОИИУС позволит решить задачу дальнейшего уменьшения веса (почти в 2 раза) измерительных средств и кабельных сетей на борту летательных аппаратов. ВОИИУС выполняет функции не только передачи, но и сбора измерительной информации, поэтому в структуре такой системы обязательно наличие во-

локонно-оптических датчиков (ВОД). Основное преимущество ВОД обусловлено, прежде всего, их естественной сопрягаемостью с волоконно-оптическими средствами передачи информации и лучшими возможностями объединения их в ВОИИУС.

ВОД характеризуются обеспечением чрезвычайно высокого уровня безопасности при эксплуатации. Отсутствие источника электрической мощности в зоне измерения и замена ее световой энергией с уровнем не выше 1 мВт гарантирует совершенно безопасную работу ВОД в потенциально искро-, взрыво- пожароопасных условиях. Важнейшим достоинством ВОД является невосприимчивость их к помехам, создаваемым высокочастотными электромагнитными полями и токами замыкания через землю. Благодаря этому достоинству ВОД возможно получение большой экономии в области управления технологическими процессами, поскольку появляется возможность прокладки силовых электрических кабелей и измерительных трасс в единых каналах. Применение ВОД устраняет опасность поражения электрическим током. ВОД позволяют организовать распределенную систему измерения со значительными расстояниями (до 1 км) между отдельными устройствами с передачей данных по единому волоконно-оптическому кабелю.

Пожалуй, самым уникальным свойством волоконно-оптического принципа преобразования является его универсальность: на его основе можно реализовать ВОД для измерения практически любой физической величины, чего нельзя сказать о других принципах преобразования.

В ВОД, регистрирующих изменение интенсивности излучения, используются различные оптические свойства излучения. В табл. 6.1 приведены наиболее часто применяемые и рекомендуемые принципы преобразования оптического сигнала в волоконно-оптических преобразователях (ВОП).

Таблица 6.1

Принципы преобразования оптического сигнала

Измеряемая физическая величина	Принцип действия ВОП
Давление, сила, виброперемещение, ускорение, скорость	Отражение, прерывание, преломление света, туннельный эффект, микроизгибные и изгибные потери
Перемещение: линейное и угловое	Отражение, поглощение, гашение света
Частота вращения	Отражение, прерывание света
Уровень жидкости	Отражение, прерывание, преломление света, нарушение условия полного внутреннего отражения
Деформация, крутящий момент	Микроизгибные и изгибные потери
Унос ТЗП, наличие пламени	Регистрация излучения внешнего источника
Температура	Отражение, прерывание света, изменение интенсивности излучения тела, флуоресценция, вибрация излучения черного тела, применение кристалла полупроводника в качестве аттенюатора
Состав газовых сред	Регистрация изменений спектра поглощения газа, рассеяное излучение, поглощение в веществе, изменение коэффициента поглощения вещества
γ -радиация	Поглощение излучения на окрашенных F-центрах

В зависимости от решаемой задачи разнообразие принципов действия ВОП значительно ограничивается. Так, например, для измерения перемещения объекта можно использовать явления отражения, поглощения, гашения (прерывания). Причем, если измеряются продольные перемещения, целесообразно использовать явления отражения и поглощения. В то же время в слабо поглощающих средах альтернативы явлению отражения практически нет.

Преимущества ВОД в комплексе с достоинствами ВОИИУС еще четче обозначают перспективность и целесо-

образность их применения. Наиболее перспективно внедрение ВОИИУС на объектах, где особенно высоки требования по пожаро-, искро-, взрывобезопасности, а различные энергетические установки создают сильные электромагнитные помехи.

На рис. 6.1 показано соотношение спроса и предложения на ВОД у нас и за рубежом. Налицо критическое отставание отечественных разработок от мирового уровня и темпов создания ВОД. Недостаточны затраты на НИОКР в области создания ВОД по сравнению с соответствующими расходами на электронные устройства.

В то же время потребность в ВОД в различных отраслях у нас достаточно высокая. Наибольшую потребность в ВОД испытывают авиационная, ракетно-космическая и военная техника, АЭС. Нужны ВОД и предприятиям металлургической, нефте- и газодобывающей промышленности, топливно-энергетического комплекса, судостроительной отрасли, химической промышленности, горного дела, автомобильному транспорту, медицине, биологии и т.д.

Несмотря на это, в настоящее время имеет место недопустимая недооценка роли ВОД при решении задач измерения и контроля в различных системах и на различных объектах.

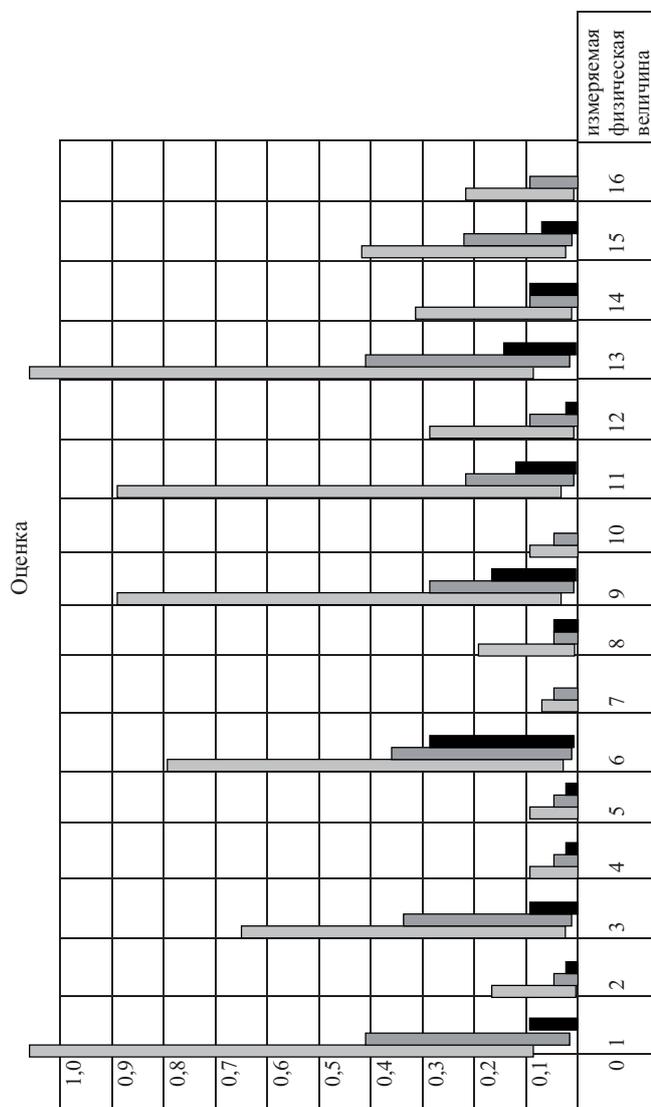
Критически настроенные оппоненты ВОД чаще всего в своих доводах обращаются к сравнению метрологических характеристик традиционных электрических и ВОД, которое пока свидетельствует не в пользу последних. При этом не учитывается ряд объективных причин, не позволяющих реализовать потенциальные возможности ВОД. Во-первых, до настоящего времени отсутствуют сертифицированные оптические волокна (ОВ) для измерительной техники, а в ВОД используются ОВ, разработанные для телекоммуникационных систем, параметры которых отвечают потребностям связи. Это сказывается на метрологических характеристиках ВОД, например: неинформативные изгибы низкоапертурных

ОВ в амплитудных ВОД ведут к существенному изменению выходного сигнала. Во-вторых, большинство существующих ОВ рассчитано на работу с лазерными излучателями, имеющими узкую диаграмму направленности и высокую когерентность излучения и в то же время практически не приспособленными к жестким условиям эксплуатации в составе ВОИИУС ЛА. Разработчики ВОД пытаются взамен лазеров использовать более надежные светодиоды, но при этом из-за широкой диаграммы направленности излучения последних значительно снижается эффективность ввода света в ОВ и, соответственно, чувствительность преобразования со всеми вытекающими последствиями.

В настоящее время известно около 2000 основных типов датчиков и около 60 000 серийно выпускаемых моделей, большинство из которых имеет электрический выходной сигнал. Промышленность произвела огромные капитальные вложения в существующие датчики, средства их обслуживания, ремонта, метрологического обеспечения, и это является тормозом к внедрению новых разработок ВОД. Отсюда ясна сложность проблемы: заменить такую устоявшуюся номенклатуру электрических датчиков волоконно-оптическими и сделать это без огромных вложений на их разработку, производство и внедрение. Тем не менее эта задача не считается невыполнимой. По мнению специалистов, в ближайшие 3–5 лет ВОД заменят во многих отраслях традиционные датчики.

Отсутствуют информационная, параметрическая и конструктивная совместимость ВОД с ВОИУС. Отсутствие широкой номенклатуры ВОД и недостаточные темпы их разработок сдерживают создание и внедрение ВОИУС.

Отставание отечественных разработок ВОД объясняется рядом объективных причин, среди которых определяющей является отсутствие комплексного подхода к решению этой проблемы и, как следствие, недостаточное финансирование исследований этой отрасли измерительной техники.



1 – перемещение, 2 – скорость, 3 – ускорение, 4 – деформация, 5 – координаты, 6 – частота вращения, 7 – крутящий момент, 8 – унос ТЭП, 9 – уровень, 10 – расход, 11 – давление, 12 – сила, 13 – температура, 14 – наличие пламени, 15 – газовый состав, 16 – напряженность магнитного поля

□ – предложение отечественное, ■ – предложение за рубежом, ▒ – предложение отечественное (литература)

Рис. 6.1. Соотношение спроса и предложения (отечественных и зарубежных) на ВОД (по экспертным оценкам и литературным источникам)

Выявлены следующие факторы, влияющие на современное состояние в области разработки и использования ВОД:

- предприятия отдельных отраслей ведут разработки ВОД практически только для «своих» изделий под ограниченный перечень задач;

- работы по созданию ВОД родственных предприятий различных отраслей не координируются, ведутся без обмена опытом и информацией;

- при постановке новых задач разрабатываются новые датчики, нередко с «нулевого» задела;

- предприятия, как правило, руководствуясь сиюминутными доходами, не заинтересованы в проведении широкотиповых комплексных исследований по созданию гаммы универсальных ВОД;

- в вузах не проводится подготовка специалистов в области конструирования ВОД и системотехники ВОИИУС.

Вышеперечисленные факторы неизбежно ведут к распылению людских и материальных ресурсов и, как правило, к низкому качеству разработок. В подобной ситуации целесообразно обратить внимание на опыт зарубежных фирм, выпускающих датчики, которые не стремятся установить рекорды по точности, а добиваются максимального удовлетворения потребностей различных потребителей ограниченным числом типовых конструктивных решений при увеличении объема их выпуска и соответствующем снижении их стоимости.

Частные задачи, которые ставили отдельные заказчики перед разработчиками ВОД, и, соответственно, незначительные финансовые вливания не могли обеспечить комплектования необходимым оборудованием и совершенствование технологической базы предприятий, занимающихся проблемой ВОД.

Преодоление существующих проблем – основная задача создания ВОД.

Когда речь идет о внедрении целого класса датчиков, представляется целесообразным рассматривать не предельные значения физических величин, а обобщенные, т.е. встречающиеся в ТЗ заказчиков наиболее часто. Такой подход исключает неоправданное усложнение типовых технических решений ВОД. В то же время для более жестких условий применения на базе типовых решений возможно создание ВОД с некоторой модификацией конструктивных и схемных решений. Ввиду того, что в ближайшие 3–5 лет трудно ожидать появления на рынке конкурентоспособных достаточно полных семейств ВОД, представляется целесообразным пройти через некоторый промежуточный этап: этап адаптации разрабатываемых ВОД к существующим ИИУС. Это позволит провести отработку новых технических решений до совершенства и перейти к более сложному этапу: этапу создания полностью интегрированных волоконно-оптических систем.

Таким образом, создание и внедрение отечественных ВОД как основных компонентов ВОИИУС с метрологическими и эксплуатационными характеристиками, отвечающими условиям и требованиям ЛА, пригодных для промышленного освоения и сопрягаемых как с традиционными, так и вновь разрабатываемыми ВОИУС, является актуальной задачей, требующей быстрее решения.

Для развития перспективного направления по созданию средств измерений на основе волоконной оптики для изделий ракетно-космической и авиационной техники и других отраслей народного хозяйства в 1998 г. в связи с решением Российского авиационно-космического агентства в г. Пензе был образован один из центров России по созданию ВОД, который, несмотря на финансовые трудности, развивает научно-техническое направление, содержанием которого является разработка на единой методологической основе ряда унифицированных базовых технических решений ВОД с повышенными метрологическими и эксплуатационными харак-

теристиками. В ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» создан НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем», действующий в рамках научной школы «Волоконно-оптическое приборостроение». Центром разработана новая концепция проектирования ВОД с повышенными эксплуатационными и метрологическими характеристиками, новая последовательность проектирования ВОД, учитывающая особенности и связь предлагаемой последовательности математического моделирования с конструктивно-технологической оптимизацией ВОП.

6.2. Волоконно-оптический датчик электрического тока для инженерно-технических объектов

В.Д. Бурков, А.Н. Демин

Исследованиям и разработкам миниатюрных волоконно-оптических датчиков электрических токов (ВОДТ) посвящено достаточно большое число работ. Это обусловлено необходимостью разработки новых, более совершенных методов измерения электрических токов в энергетически насыщенных оборудовании, в том числе в цепях электропитания различных инженерно-технических объектов. Такие ВОДТ обладают рядом преимуществ [1-7], которые вызывают к ним значительный практический интерес и обеспечивают возможности их применения. Основными из этих преимуществ являются: пассивность чувствительных элементов (отсутствие электрического питания), помехозащищенность, миниатюрность, дистанционность измерений при высокой чувствительности и быстродействии.

С точки зрения указанного, включая миниатюрность конструкции, из всех типов ВОДТ наиболее перспективными являются ВОДТ на основе эффекта Фарадея в оптически активных кристаллах с кубической симметрией $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. Кубическая структура этих кристаллов обуслав-

ливают изотропность диэлектрической проницаемости и, как следствие этого, отсутствие естественного линейного двулучепреломления. Отсутствие естественного линейного двулучепреломления в свою очередь снимает жесткие ограничения на апертуры световых пучков в кристаллах, что позволяет согласовывать чувствительные элементы с многомодовыми оптическими трактами с достаточно малыми потерями. Кроме того, отсутствие естественного линейного двулучепреломления, которое весьма чувствительно к температуре, существенно может упростить задачу создания термостабильных чувствительных элементов ВОДТ [8,9]. Кристаллы со структурой силленита обладают относительно низкой температурой плавления (около 930°C), поэтому выращивание достаточно больших однородных кристаллов высокого оптического качества является относительно несложной задачей.

Кристаллы со структурой силленита и, в частности, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ являются диамагнетиками. Они обладают значительной величиной константы Верде $V=0,1$ мин/Гс·см для $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $V=0,188$ мин/Гс·см для $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, что в несколько раз превышает значения V для диамагнитных стекол.

Область прозрачности $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ лежит в диапазоне длин волн $\lambda > 0,5$ мкм. Особенностью данных кристаллов является наличие в них собственного кругового двулучепреломления или оптической активности. Поэтому при анализе эффектов, связанных с модуляцией света электромагнитными полями, необходимо учитывать влияние оптической активности.

Анализ магнитооптической модуляции света в чувствительных элементах ВОД магнитного поля на основе кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

Магнитооптическая модуляция света в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ возникает как следствие наводимого

магнитным полем H кругового двулучепреломления (эффект Фарадея), приводящего к повороту плоскости поляризации световой волны. Особенностью данных кристаллов является наличие у них естественной оптической активности, поэтому угол поворота плоскости поляризации световой волны, проходящей через кристалл, будет определяться как

$$\varphi = V \cdot H \cdot L + \Theta \cdot L, \quad (1)$$

где V – константа Верде $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$; H – проекция вектора приложенного магнитного поля на направление распространения световой волны в кристалле; L – длина кристалла; Θ – коэффициент оптической активности $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$.

Чувствительность ВОДТ к магнитному полю и электрическому току определяется коэффициентом преобразования чувствительного элемента (ЧЭ) или первичного измерительного преобразователя, который пропорционален углу Фарадея φ . Для расчета коэффициента преобразования при заданных интенсивности света на входе ЧЭ необходимо определить состояние поляризации световой волны и ее интенсивности на выходе. Расчет проведен с помощью формализма матриц Джонса.

Матрица Джонса для среды, обладающей как линейным, так и круговым двулучепреломлением (эллиптической фазовой пластины в базисе осей линейного двулучепреломления), имеет вид [4, 6]:

$$\hat{M} = \begin{pmatrix} \cos(mL) + i \frac{\beta}{m} \sin(mL) & \frac{C}{m} \sin(mL) \\ -\frac{C}{m} \sin(mL) & \cos(mL) - i \frac{\beta}{m} \sin(mL) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $m = \sqrt{C^2 + \beta^2}$, C – коэффициент кругового двулучепреломления, β – коэффициент линейного двулучепреломления, L – длина кристалла.

Для кристалла $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ в магнитном поле суммарное круговое двулучепреломление складывается из собственного и наведенного полем (эффект Фарадея) двулучепреломлений: $C = \Theta + F$, где Θ – коэффициент собственного кругового двулучепреломления (оптической активности) в кристалле; $F = V \cdot H$, V – константа Верде; H – проекция приложенного магнитного поля на направление распространения световой волны. В идеальных кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ собственное линейное двулучепреломление β отсутствует, так как кристалл имеет кубическую симметрию и является изотропным. На практике, вследствие несовершенств и дефектов кристаллов, могут возникать внутренние напряжения и, как следствие, возникает и наведенное этими эффектами линейное двулучепреломление. Однако для ограниченных длин оптического пути света в кристалле величина его мала по сравнению с величиной собственного кругового двулучепреломления Θ [6], что позволяет упростить расчеты коэффициентов преобразования чувствительных элементов. На практике применяют три типичные оптические схемы чувствительных элементов ВОДТ: «проходная» схема, когда излучение проходит через кристалл один раз; «отражательная» схема, когда излучение проходит через кристалл дважды туда и обратно, отражаясь от задней грани кристалла чувствительного элемента, и многопроходная схема, в которой луч света несколько раз проходит через кристалл, что позволяет повысить чувствительность ВОДТ за счет увеличения длины оптического пути. Из них наиболее простым с точки зрения практической реализации является схема с однопроходным ЧЭ.

Анализ характеристик однопроходного ЧЭ

Для построения миниатюрных ВОДТ в наибольшей степени подходит схема однопроходного ЧЭ, представленная на рис. 6.2.

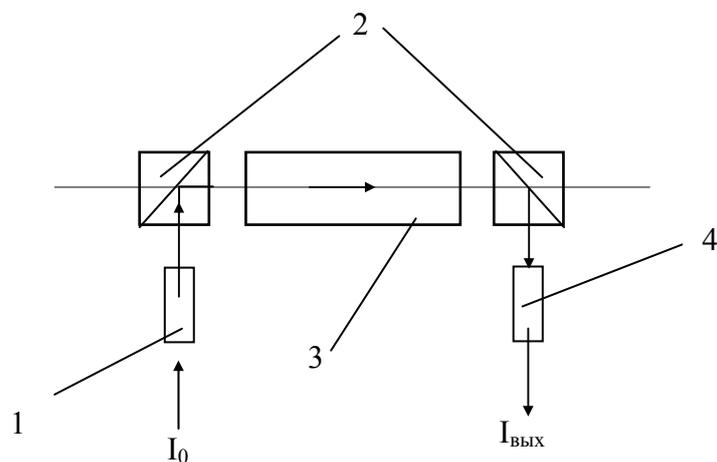


Рис. 6.2. Оптическая схема чувствительного элемента проходного типа:

1, 4 – градиентные линзы; 2 – поляризационные делительные кубики; 3 – магнитооптический кристалл; I_0 , $I_{\text{ВЫХ}}$ – интенсивность света на входе и выходе соответственно.

Матрица Джонса для такой схемы имеет вид:

$$\hat{M} = \hat{R}(\alpha) \times \hat{P} \times \hat{R}(-\alpha) \times \hat{M}_{BSO} \times \hat{P}, \quad (2.9)$$

где $\hat{P} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ – матрица идеального линейного поляризатора; \hat{M}_{BSO} – матрица кристалла, описываемая выражением (2); $\hat{R}(\alpha)$ – матрица поворота на угол α , α – угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов. Расчет состояния поляризации и интенсивности света на выходе такой системы аналогичен предыдущему, с учетом особенностей схемы дает следующие значения для интенсивности света I на выходе:

$$I = I_0 \left[\frac{1}{2} (1 + \cos(2\alpha + 2CL)) - \beta L \frac{\beta}{2C} \sin(2\alpha + 2CL) + \right. \\ \left. + \frac{\beta^2}{4C^2} [2 \cos(2\alpha) - \cos(2\alpha + 2CL) + \sin(2\alpha) \sin(2CL)] \right]. \quad (3)$$

Для того чтобы коэффициент преобразования и глубина модуляции магнитным полем были максимальными, необходимо выбрать значения L и α так, чтобы величина $\Theta L + \alpha$ была близка к $\pi/4$. В этом случае:

$$I \cong \frac{1}{2} I_0 \left[1 - 2FL \sin(2\alpha + 2\Theta L) + \cos(2\alpha + \Theta L) - \beta L \frac{\beta}{\Theta + F} \sin(2\alpha + 2CL) \right], \quad (4)$$

При получении выражения (4) мы пренебрегли членами порядка $\frac{\beta^2}{C^2}$.

Из выражения (4) следует, что наличие в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ большой величины собственной оптической активности Θ ослабляет влияние собственного линейного двулучепреломления пропорционально коэффициенту $\frac{\beta}{\Theta}$, что позволяет не учитывать β в дальнейшем рассмотрении.

В случае измерения переменного магнитного поля $H = H_0 \cos(\omega t)$ сигнал представляет собой сумму переменной составляющей с амплитудой, пропорциональной H_0 , и постоянной составляющей, зависящей от медленно меняющейся температуры. Используя полосовой фильтр, мы можем выделить переменную составляющую сигнала на частоте ω и не учитывать в дальнейшем рассмотрении постоянную составляющую сигнала, пропорциональную $\cos(2\Theta L + 2\alpha)$. Сле-

довательно, для переменного магнитного поля H интенсивность I на выходе ЧЭ будет иметь вид:

$$I = -I_0 \cdot VHL \cdot \sin(2 \cdot \Theta L + 2 \cdot \alpha). \quad (5)$$

Таким образом, изменение коэффициента преобразования ЧЭ при изменении температуры окружающей среды определяется в основном двумя факторами: температурным дрейфом константы Верде V материала и изменением от температуры величины коэффициента собственной оптической активности Θ .

Для достижения максимальной величины коэффициента преобразования необходимо сориентировать поляризаторы таким образом, чтобы выполнялось соотношение $2\Theta L + 2\alpha = 90^\circ$, где α – угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов. В этом случае температурный коэффициент преобразования ЧЭ будет, как и в отражательной схеме, определяться только дрейфом константы Верде V и составит $1,5^\circ$ на 100°C . В то же время, поскольку V и Θ в выражении (5) имеют температурные коэффициенты противоположных знаков, то, в принципе, должны существовать условия, при которых температурный дрейф коэффициента преобразования ЧЭ может быть уменьшен. Теоретически для определенных длин кристаллов и ориентаций поляризаторов температурный дрейф ЧЭ может быть снижен до величины $\sim 0,5\%$ на 100°C .

Конструкция однопроходного ЧЭ ВОДТ

Вариант конструкции миниатюрного ЧЭ приведен на рис. 6.3. Принцип его работы следующий.

Поступающий по входному волокну свет с одной или двумя (если это требуется) длинами волн λ_1 и λ_2 коллимируется градиентной линзой L , проходит последовательно через поляризатор, кристалл $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, анализатор и далее с по-

мощью градиентной линзы вводится в многомодовое волокно. Основной отличительной особенностью этой конструкции являются ее простота и универсальность. Одним из основных элементов ВОДТ служит коллиматор. Конструкция коллиматора приведена на рис. 6.4.

Коллиматор состоит из керамического наконечника волоконно-оптического коннектора LC-типа диаметром 1,25 мм, градиентной линзы и стеклянной или керамической оправы. Внутренний диаметр оправы подобран так, чтобы был приблизительно на 50 мкм больше, чем диаметр градиентной линзы, который составляет 1,5 мм. Достижимые габариты ЧЭ могут составлять до 4×4×35 мм.

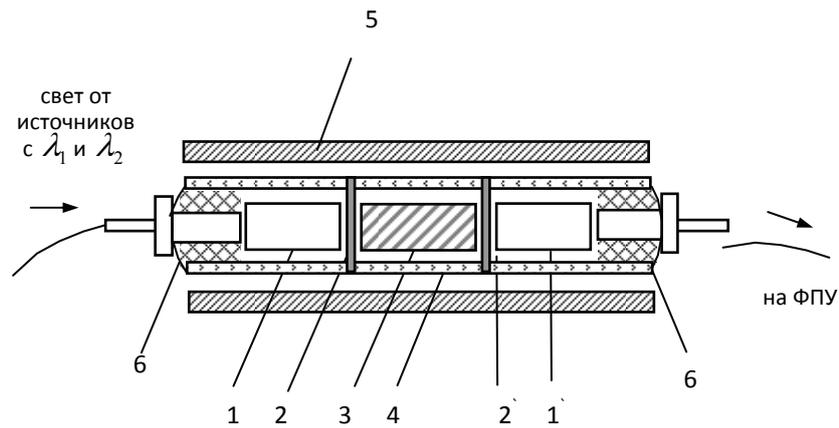


Рис. 6.3. Конструкция чувствительного элемента однопроходного типа:

1 – коллиматор; 2 – поляризатор; 3 – кристалл $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$;
4 – стеклянная оправка; 5 – защитная кварцевая трубка;
6 – керамический наконечник коллиматора

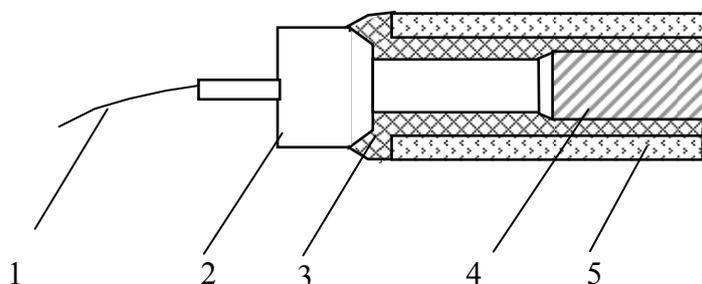


Рис. 6.4. Схема коллиматора в сборке:

- 1 – многомодовое оптическое волокно 62,5/125 мкм;
 2 – керамический наконечник (ферула) коннектора LC-типа;
 3 – эпоксидный клей; 4 – градиентная линза;
 5 – стеклянная или керамическая втулка

Выводы

Проведенный теоретический анализ и проработки вариантов конструкции ВОДТ для инженерно-технических объектов показали:

1. Целесообразно использовать ВОДТ на основе эффекта Фарадея в кристаллах типа $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ – как вариант, максимально удовлетворяющий комплексу требований по миниатюрности, чувствительности, быстродействию, помехозащищенности, пассивности чувствительных элементов (отсутствию электрического питания), отсутствию необходимости разрыва электрической цепи для проведения измерений.

2. Из схем конструкций ЧЭ наиболее предпочтительной является конструкция ЧЭ однопроходного типа, которая при относительной простоте реализации позволяет наиболее просто оптимизировать вышеуказанные требования в сочетании с высокими метрологическими характеристиками.

3. Основным источником дополнительной погрешности ВОДТ является температурная погрешность. Уменьшение температурной погрешности возможно путем соответствующего подбора длин кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и ориентации поляризаторов. Теоретически для определенных длин кристаллов и ориентаций поляризаторов температурный дрейф ЧЭ может быть снижен до величины $\sim 0,5\%$ на 100°C . Дополнительное снижение температурной погрешности может быть достигнуто термостатированием ЧЭ ВОДТ.

Литература

1. Optical Fiber sensors: System and applications, ed. Brian Calshaw and John Dakin, ARTECH HOUSE. – Boston, London, 1989. – P. 745-785.
2. Patterson R.L., Rose A.N., Tang D., Day G.W. A Fiber-Optic Current Sensor for Aerospace Applications, IEEE AES System Magazine, December 1990.
3. Yamagata Y., Oshi T., Katsukawa H., Kato S., Sakurai Y. Development of Optical Current Transformer and Application to Fault Location Systems for Substations, IEEE Trans. of Power Del. – July 1993. – Vol. 8. – № 3.
4. Gorchakov V.K., Kutzaenko V.V., Potapov V.T. Electrooptical and magnetooptical effects in bismuth silicate crystals and polarization sensors using such crystals // Int. Journ., Optoelectronics. – 1990. – Vol. 5. – № 3. – P. 235-250.
5. Rogers A.J. Optical fiber current measurement // Intern. Journ. Optoelectronics. – 1998. – Vol. 3. – № 5. – P.120-126.
6. Бурков В.Д., Иванов Г.А. Научные основы создания устройств и систем волоконно-оптической техники. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.
7. Бурков В.Д., Крапивин В.Ф. Экоинформатика: Алгоритмы, методы и технологии: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009.
8. Кухта А.В., Потанов В.Т., Потанов Т.В. Волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока с термостабильным чувствительным элементом на основе $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ //

Экология, мониторинг и рациональное природопользование. Вып. 294 (II), с. 129-138. – М.: Изд-во МГУЛ, 1998.

9. А.С. №2213356, заявл. МГУЛ 28.06.2000, опубл. 27.09.2003. «Волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока».

6.3. Волоконно-оптический датчик для измерения аэродинамических углов

Т.И. Мурашкина, И.С. Рубцов

Предложен новый волоконно-оптический датчик аэродинамических углов (ВОДАУ) на основе дифференциального волоконно-оптического преобразователя угловых перемещений (ВОПУП), в котором используется пластина с двумя отражающими поверхностями, закрепленная на платформе с элементом, воспринимающим давление воздушного потока.

Системы обеспечения безопасности полета летательных аппаратов (ЛА) требуют выполнять измерения аэродинамических углов (АУ) с погрешностью, не превышающей $0,4-0,5^\circ$ в диапазоне измерения $\pm 60^\circ$. Основная погрешность известных отечественных флюгерных датчиков аэродинамических углов – $0,4-2^\circ$, а зарубежных (по рекламным данным) – $0,1-0,25^\circ$ [1]. Чувствительность преобразования известных флюгерных датчиков АУ (ФДАУ) небольшая, что ограничивает их применение на летательных аппаратах (ЛА): нижний предел их применения по скорости полета 150–250 км/час. Самым существенным недостатком применяемых ФДАУ является наличие в их измерительной цепи механической преобразующей системы, включающей зубчатые зацепления, подшипниковые соединения и др. Данный фактор ведет к снижению надежности датчика при воздействии на него различных механических воздействий, возникновению резонансных явлений при колебаниях летательных аппаратов,

значительным динамическим погрешностям, большим массогабаритным характеристикам.

Авторы предлагают для измерения АУ использовать волоконно-оптический принцип преобразования, позволяющий полностью уйти от механической преобразующей системы с подвижными элементами [2]. Для снижения некоторых погрешностей ВОДАУ необходимо реализовать дифференциальную схему преобразования оптического сигнала в зоне восприятия измеряемой физической величины в ВОПУП [3].

В дифференциальных ВОПУП отражательного типа модулирующим элементом (МЭ) является металлическая пластина с двумя зеркальными отражающими поверхностями. С двух сторон МЭ расположены оптические волокна первого и второго измерительных каналов (ИК), причем подводящие оптические волокна (ПОВ1) первого ИК расположены соосно с отводящими оптическими волокнами (ООВ2) второго ИК и, наоборот, ПОВ2 второго ИК расположены соосно с ООВ1 первого ИК [3].

В ВОПУП появление силы, вектор которой перпендикулярен плоскости МЭ, приводит к смещению ее на угол α относительно первоначального положения и тем самым к изменению потока излучения, попадающего в приемные торцы ООВ1 и ООВ2. В работе [3] определены функции преобразования первого и второго ИК. Электрические сигналы на выходе приемников излучения первого и второго ИК (ПИ1 и ПИ2) пропорциональны интенсивности световых потоков, поступающих на них. При обработке сигнала с дифференциального ВОПУП для улучшения точностных характеристик целесообразно сформировать отношение разности сигналов на выходе каналов к их сумме.

Дальнейшее развитие исследований шло по пути введения в оптическую систему ВОПУП механической преобразующей системы без взаимно перемещающихся элементов типа «зубчатая передача». Таким элементом может быть

сильфон, жестко соединенный с платформой, на которую действует некоторая сила F , на расстоянии L относительно оси ВОПУП, на которой расположен МЭ (рис. 6.5).

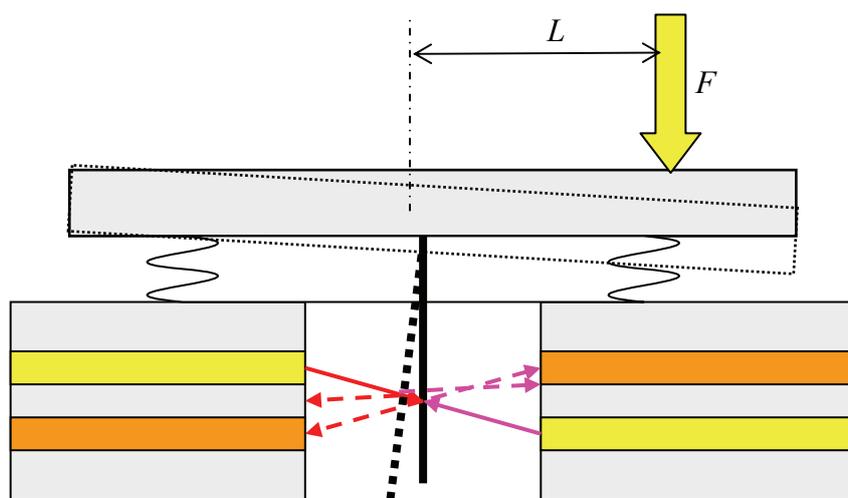


Рис. 6.5. Дифференциальный ВОПУП, совмещенный с сильфоном

На рис. 6.6 показан общий вид одного из возможных вариантов ВОДАУ на основе дифференциального ВОПУП.

Датчик содержит корпус 4, в котором установлено основание 1 с жестко закрепленным в нем рабочим торцом волоконно-оптического кабеля (ВОК) 9, державку с сильфоном 2 с закрепленным жестко в ней МЭ в виде металлической пластины 3, имеющей две зеркально отражающие поверхности, платформы 5, жестко соединенной с державкой 2.

В горизонтальные отверстия основания 1 установлены соосно относительно друг друга со стороны отражающих поверхностей МЭ рабочие торцы ВОК первого и второго ИК.

Наконечники 6 с оптическими волокнами фиксируются винтами 6 и 12 в основании 1 после выполнения процедуры юстировки.

На платформе 5 устанавливается воспринимающий элемент (ВЭ) (на рисунке не показан) на расстоянии L относительно оптической оси датчика.

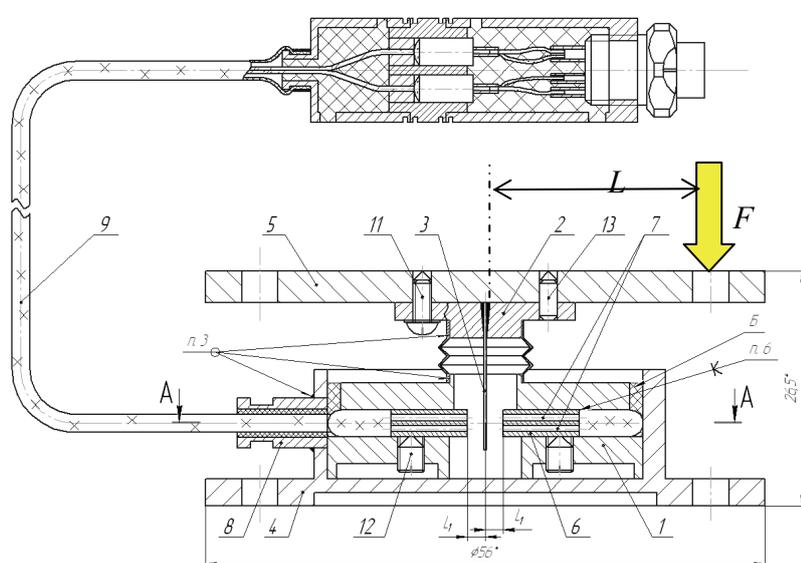


Рис. 6.6. ВОДАУ с дифференциальным ВОПУП:

1 – основание; 2 – державка с сильфоном; 3 – металлическая пластина;
4 – корпус; 5 – платформа; 6 – наконечники; 7 – оптические волокна;
8 – втулка; 9 – волоконно-оптический кабель

При воздействии воздушного потока на ВЭ создается крутящий момент $M = L \times F$, где F – сила, с которой ВЭ действует на платформу 5. При этом платформа 5 поворачивается на угол α относительно горизонтального положения, соответственно на данный угол перемещается пластина 3 относительно торцов ВОК.

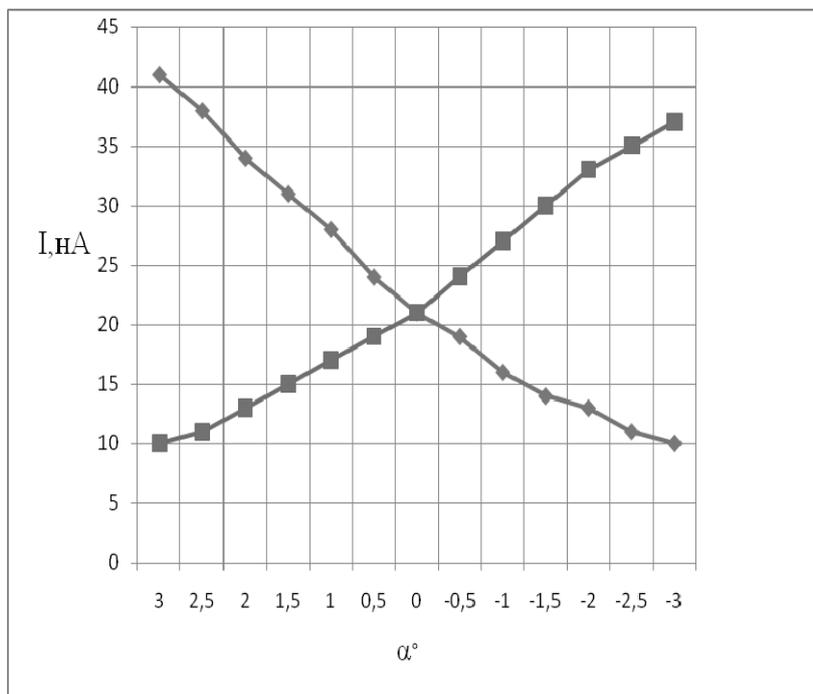


Рис. 6.7. Зависимости тока фотодиодов первого и второго измерительных каналов от углового перемещения МЭ в диапазоне $\pm 3^\circ$

На рис. 6.7 приведены графики зависимости тока фотодиодов от углов отклонения МЭ первого и второго каналов $I_1=f_1(\alpha)$ и $I_2=f_2(\alpha)$, полученные в процессе реальной юстировки и оптической регулировки дифференциального ВОПУП.

Предложенная конструкция ВОДАУ может быть адаптирована без существенных изменений для измерения других физических величин: деформации, расхода жидкости и газа, силы, давления и др.

Литература

1. Авиационные приборы и системы: учеб. пособие / Г.И. Клюев, Н.Н. Макаров, В.М. Солдаткин; под ред. В.А. Мишина. – Ульяновск: УлГУ, 2000. – 344 с.
2. *Живетин В.Б.* Аэромеханический контроль (элементы теории и эксперимента). – Казань: Казанское математическое общество, 2000. – 195 с.
3. Дифференциальный ВОПУП / Е.А. Бадеева, О.В. Юрова, А.С. Шевелев [и др.] // Современная электроника. – 2010. – № 8. – С. 32-33.
4. Патент № 2419765. Волоконно-оптический преобразователь углового перемещения. от 27.05.2011 г. / О.В. Юрова, Т.И. Мурашкина, А.Г. Пивкин, Д.И. Серебряков.

6.4. Технологические основы проектирования волоконно-оптических датчиков давления для искро-, взрыво-, пожароопасных инженерно- технических объектов

Т.И. Мурашкина, И.С. Рубцов

На специальных инженерно-технических объектах (ИТО) космической и авиационной техники измерения давления составляют половину всех измерений. Дальнейшее совершенствование систем измерения давления на ИТО возможно на пути использования новых перспективных средств измерения, к которым относятся волоконно-оптические датчики давления (ВОДД).

Для достижения высокой точности и надежности при проектировании новых ВОДД на первый план выступают технологические вопросы: необходимы современные технологические процессы и процедуры юстировки, настройки, регулировки их оптических систем, обеспечивающие формирование рациональной структуры светового потока, несущего измерительную информацию об измеряемом давлении.

Разработана новая технологическая концепция проектирования ВОДД с повышенными эксплуатационными и метрологическими характеристиками. Особенности проектирования ВОДД для специальных ИТО требуют исключения влияния на результат измерения изгибов оптических волокон, что возможно на пути применения открытых оптических каналов измерительных преобразователей ВОДД, т.е. в разрабатываемых ВОДД должны быть применены конструктивно-технологические решения, которые исключают какие-либо изгибы оптических волокон. Целесообразно применение дифференциальных схем преобразования сигналов, причем данное преобразование следует проводить с оптическими сигналами непосредственно в зоне восприятия измерительной информации, что является новым технологическим

решением. Для этого необходимо разрабатывать адекватные конструктивно-технологические решения ВОДД.

Основу разрабатываемых измерительных преобразователей ВОДД составляет открытый оптический канал (ООК). ООК характеризуется конструктивно-технологическими и оптическими параметрами, приведенными на рис. 6.8, изменение которых обеспечивает требуемое течение процесса преобразования в ВОПД [1].



Рис. 6.8. Конструктивно-технологические параметры открытого оптического канала ВОДД

При сборке ВОДД на первый план выступают технологические вопросы юстировки оптической системы, связанные с распределением плотности мощности по сечению пучка света, характер изменения структуры излучения в зоне измерения. Разработана технологическая последовательность проектирования оптической системы ВОДД (рис. 6.9).



Рис. 6.9. Технологическая последовательность проектирования оптической системы ВОДД

Определены основные критерии оптимизации конструктивно-технологических параметров ВОДД для функции преобразования. Вектор критериев имеет вид $\tau = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3\} \in T_\tau$, где τ_1 – условие линейности; τ_2 – условие чувствительности; τ_3 – условие модуляции.

τ_1 определяет аналитический вид линейной функции преобразования $\Phi(P) = kP + b$, т. е. коэффициент корреляции $\rho_{\Phi, X}$ между значениями измеряемой физической X величины и значениями выходного сигнала Φ определяется выражением $|\rho_{\Phi, X}| = \left| \frac{\mu_{\Phi, X}}{\sigma_\Phi \sigma_X} \right| = 1$, где $\mu_{\Phi, X}, \sigma_\Phi, \sigma_X$ – коэффициент ковариации, среднеквадратичные отклонения двух числовых последовательностей соответственно;

τ_2 определяет чувствительность волоконно-оптического преобразователя (ВОП):

а) для линейной функции распределения

$$k = \left| \frac{d\Phi}{dX} \right| \rightarrow \max;$$

б) для ступенчатой функции распределения

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\left| \lim_{X \rightarrow X_{\text{крит.}} - \varepsilon} \Phi(X) \right|}{\left| \lim_{X \rightarrow X_{\text{крит.}} + \varepsilon} \Phi(X) \right|} = c \rightarrow \max.$$

τ_3 определяет глубину модуляции

$$h = \frac{|\Phi(X_\alpha) - \Phi(X_\beta)|}{\max(|\Phi(X_\alpha)|, |\Phi(X_\beta)|)} \rightarrow \max.$$

Определена задача моделирования оптической системы ВОДД. Требуется определить конструктивные параметры $U^* (U_1^*, U_2^*, \dots, U_m^*) \in T_U$, которые удовлетворяют системе ограничений

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\alpha}^{(1)} \leq U_1^* \leq U_{\beta}^{(1)} \\ U_{\alpha}^{(2)} \leq U_2^* \leq U_{\beta}^{(2)} \\ \dots \\ U_{\alpha}^{(m)} \leq U_m^* \leq U_{\beta}^{(m)} \end{array} \right. \quad (1)$$

Допустимая технологическая погрешность изготовления $\varepsilon_i = |U_{\beta}^{(i)} - U_{\alpha}^{(i)}|, i = 1, 2, \dots, m$, где $U_{\alpha}^{(i)}, U_{\beta}^{(i)}$ – границы доверительных интервалов для искомым конструктивных параметров с заданной надежностью $\gamma_{U^*}^i, i = 1, 2, \dots, m$. При этом необходимо, чтобы функция преобразования $\Phi = f(X, U)$ удовлетворяла условиям $\tau^* = \{\tau_1^*, \tau_2^*, \tau_3^*\}$, которые являются допустимыми значениями критериев оптимизации, удовлетворяющими следующей системе неравенств:

$$(\tau_i)_{\alpha} \leq \tau_i^* \leq (\tau_i)_{\beta}, i = 1, 2, 3, \text{ или } \left\{ \begin{array}{l} (\tau_1)_{\alpha} \leq \tau_1^* \leq (\tau_1)_{\beta} \\ (\tau_2)_{\alpha} \leq \tau_2^* \leq (\tau_2)_{\beta} \\ (\tau_3)_{\alpha} \leq \tau_3^* \leq (\tau_3)_{\beta} \end{array} \right.$$

с заданной надежностью $\gamma_{\tau}^i, i = 1, 2, 3, ((\tau_i)_{\alpha}, (\tau_i)_{\beta}), i = 1, 2, 3$ – доверительные интервалы для соответствующих условий.

Большинство аддитивных погрешностей может быть снижено в процессе сборки точной юстировкой элементов конструкции, а мультипликативные погрешности, обусловленные изменением энергетических параметров источников и приемников излучения и коэффициента преобразования измерительного преобразователя, при изменении параметров

окружающей среды носят систематический характер. Одним из способов снижения данных погрешностей является дифференциальное преобразование оптических сигналов, несущих информацию об измеряемом давлении непосредственно в зоне восприятия измерительной информации.

На рис. 6.10 приведена структурная схема дифференциального соединения ВОПД с отражательным или предельным аттенюаторами, отражательного типа, разработанная на основе обобщенной схемы с учетом специфики преобразования оптических сигналов в ВОПД [2].

Для реализации предложенной схемы дифференциального преобразования оптических сигналов необходимо, чтобы выполнялись следующие условия.

I условие: световой поток, поступающий в зону измерения, должен быть сформирован от одного источника излучения, далее передаваться в зону восприятия измеряемого давления по ПОВ, и на выходе из оптического волокна должна быть сформирована такая структура светового потока, которая позволит разделить его с помощью модулирующих элементов на два световых потока, каждый из которых будет далее преобразовываться в первом или во втором измерительных каналах датчика;

II условие: должна быть такая компоновка ОВ в рабочих торцах волоконно-оптического кабеля, которая обеспечивает разделение светового потока источника излучения на два потока двух измерительных каналов;

III условие: алгоритм конструктивно-технологического исполнения дифференциального модулирующего элемента (аттенюатора) должен обеспечивать увеличение сигнала в одном канале и уменьшение в другом.

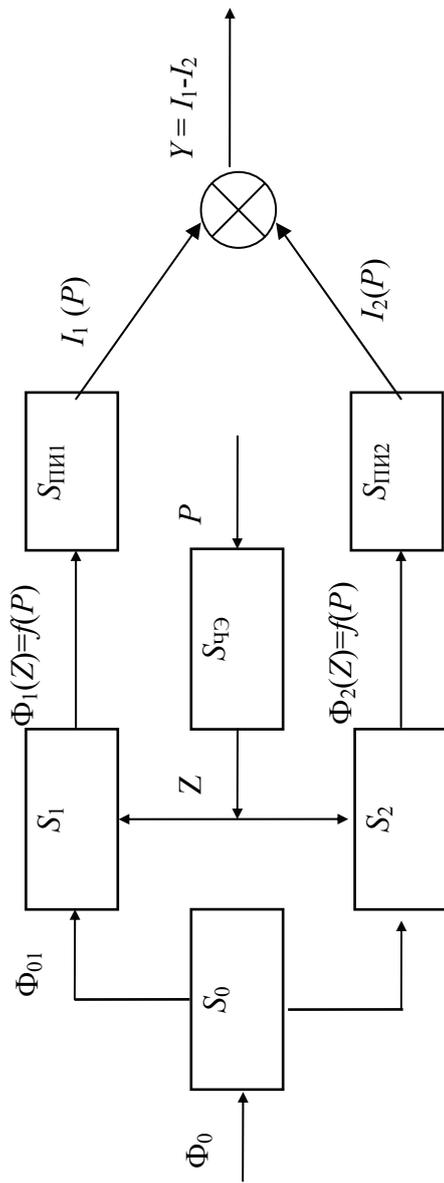


Рис. 6.10. Структурная схема дифференциального соединения ВОДД

Для выполнения условий реализации дифференциального преобразования оптических сигналов непосредственно в зоне восприятия измерительной информации ВОДД с предельными (рис. 6.11, *а*) и отражательными аттенюаторами (рис. 6.11, *б*) разработана **технологическая последовательность**, включающая следующие этапы:

а) формирование светового потока от одного источника излучения ИИ;

б) введение светового потока от одного источника излучения ИИ в одно подводящее оптическое волокно ПОВ;

в) формирование на излучающем торце ПОВ светового потока в виде полого усеченного конуса с толщиной стенок, равной диаметру сердцевины ОВ;

б) нахождение поперечных сечений А-А в полом усеченном конусе, в которых распределение освещенности равномерное;

в) расположение дифференциального модулирующего элемента ДМЭ в зоне с равномерным распределением освещенности;

г) деление светового потока в зоне равномерной освещенности на две равные части (верхнюю и нижнюю) в продольном направлении с помощью дифференциальных аттенюаторов;

д) введение нижней части светового потока в первое отводящее волокно ООВ1;

е) введение верхней части светового потока во второе отводящее волокно ООВ2;

ж) передача световых потоков по ООВ1 и ООВ2 на приемники излучения ПИ1 и ПИ2 первого и второго измерительных каналов соответственно.

Дифференциальное преобразование оптического сигнала осуществляется с помощью дифференциальных модулирующих элементов (МЭ), расположенных на расстоянии X_i от источника излучения, в качестве которого выступает плоский торец подводящего оптического волокна, и особых тех-

нологических схем расположения оптических волокон в рабочем торце волоконно-оптического кабеля.

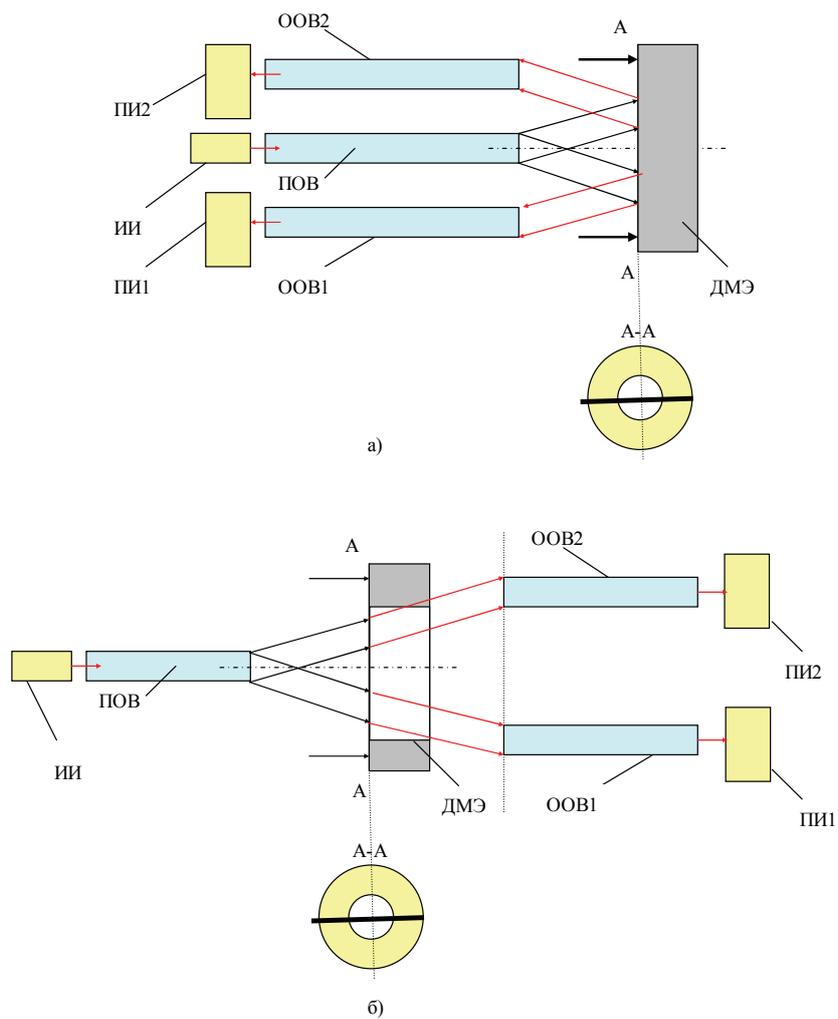


Рис. 6.11. Технологическая последовательность дифференциального преобразования оптических сигналов в ВОДД

Модулирующим элементом может быть поверхность, имеющая отражающие и поглощающие части (например, зеркальная и черная) различной конфигурации и размеров, перемещающаяся перпендикулярно или параллельно оптической оси ОВ, или непрозрачная поверхность, имеющая сквозные отверстия различной конфигурации и размеров, перемещающаяся перпендикулярно оптической оси ОВ.

Измеряемое давление воспринимается упругим элементом (мембраной), на котором тем или иным образом закреплен дифференциальный предельный аттенуатор (непрозрачный экран) без отверстий или с отверстиями различной формы. При прогибе мембраны под действием давления аттенуатор смещается относительно подводящих и отводящих волокон, что ведет к изменению интенсивности светового потока, поступившего в отводящие оптические волокна. Таким образом, базовым преобразователем измерительной информации является дифференциальный волоконно-оптический преобразователь перемещения (ВОПП) (рис. 6.12) [3].

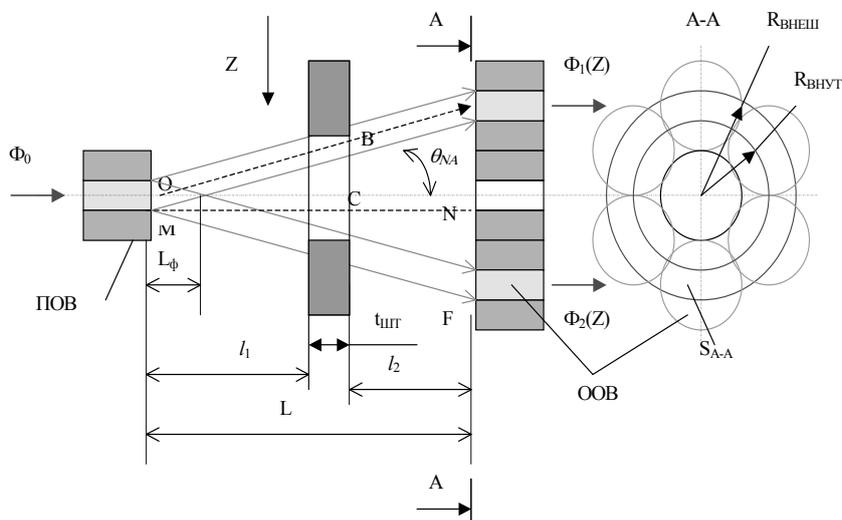


Рис. 6.12. Дифференциальный волоконно-оптический преобразователь перемещения

ВОП работает следующим образом.

От источника излучения по подводящему оптическому волокну ПОВ световой поток Φ_0 направляется в сторону аттенюатора 1. Под действием измеряемой физической величины аттенюатор 1 перемещается на величину Z относительно торцов отводящих оптических волокон ООВ, что ведет к изменению интенсивности световых потоков $\Phi_1(Z)$ и $\Phi_2(Z)$, поступающих по отводящим волокнам на светочувствительные площадки приемников излучения (фотодиодов) первого и второго измерительных каналов, соответственно. Приемники излучения преобразуют оптические сигналы в электрические I_1 и I_2 , поступающие на вход блока преобразования.

Функция преобразования ВОПП зависит от способа модуляции оптического сигнала в зоне измерения. В ВОПП с предельным аттенюатором модуляция оптического сигнала осуществляется за счет перекрытия части светового потока перемещающимся непрозрачным экраном. Функция преобразования $\Phi(Z)$ ВОПП с предельным аттенюатором с круглым отверстием имеет вид:

$$\Phi(Z) = K_0 K_{\text{АТ}}(Z) \Phi_0, \quad (2)$$

где K_0 – коэффициент, характеризующий распределение освещенности в зоне измерения; $K_{\text{АТ}}$ – коэффициент передачи тракта «подводящее оптическое волокно ПОВ – аттенюатор – отводящее оптическое волокно ООВ»; Φ_0 – начальный световой поток на выходе ПОВ.

Чтобы поведение модуляционной функции $K(X, Z)$ было прогнозируемо и позволяло однозначно определить вид функции преобразования $\Phi(X, Z)$, необходимо, чтобы коэффициент, характеризующий распределение освещенности $K(B)$, был равен 1. Технологически это условие выполняется, когда МЭ и ООВ расположены в плоскости, где распределение освещенности по сечению, перпендикулярному оптической оси ВОПП, равномерное.

Если разрабатываются ВОПД с предельными аттенюаторами, когда подводящие и отводящие ОВ расположены напротив друг друга, а аттенюатор – между ними, то условие $K(B)=1$ выполняется, если аттенюатор и ООВ расположены относительно подводящих ОВ на расстоянии, большем дистанции формирования луча L_{Φ} .

Технологическая схема компоновки оптических волокон в общем торце волоконно-оптического кабеля ВОПД датчика при модуляции светового потока при помощи аттенюатора с круглым отверстием, перемещающимся вдоль оси Z , представлена на рис. 6.12.

При соосном расположении ПОВ и ООВ

$$K_{AT}(Z) = K_{AT1}(Z) K_{AT2}, \quad (3)$$

где

$$K_{AT1}(Z) = \sum_{i=1}^{n/2} \frac{S_{Z_i}}{S_C} = \frac{\sum_{i=1}^{n/2} S_{Z_i}}{nS_C},$$

$$K_{AT2} = \frac{nS_C}{2S_{A-A}},$$

где S_{Z_i} – освещенная часть поперечного сечения сердцевин ООВ;

S_C – площадь поперечного сечения сердцевин ОВ;

S_{A-A} – площадь поперечного сечения светового потока в плоскости А-А расположения приемных торцов ООВ

$$S_{A-A} = \pi r_C(2d_{ОВ} + r_C),$$

т.е. определяется параметрами выбранного оптического волокна.

Получено

$$\Phi_1(Z) = \frac{\Phi_0}{2\pi r_C(2d_{OB} + r_C)} \times \sum_{i=1}^{n/2} \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{r_C^2}{2} \left[\left(\frac{\pi}{90} - \arcsin \frac{a_i}{2r_C} \right) - \sin \left(2\arcsin \frac{a_i}{2r_C} \right) \right] + \right. \\ & \left. + \frac{R_{СП}^2}{2} \left[\left(\frac{\pi}{90} - \arcsin \frac{a_i}{2R_{СП}} \right) - \sin \left(2\arcsin \frac{a_i}{2R_{СП}} \right) \right] \right\}. \quad (4) \end{aligned} \right.$$

Анализ выражения (7) показывает, что вид функции преобразования ВОПП с предельным дифференциальным аттенуатором определяется следующими параметрами: радиусом сердцевин r_C , внешним диаметром d_{OB} , апертурным углом Θ_{NA} ОВ (т.е. типом используемого ОВ); количеством n ООВ; расстоянием L между подводщими и отводящими волокнами.

В качестве примера на рис. 6.13 приведены графики зависимости $K_{АТГ}(Z)$ для перемещения аттенуатора в диапазоне $Z=0...200$ мкм для ОВ с параметрами: $r_C=100$ мкм, апертурным углом $\Theta_{NA} = 12$ градусов для разных X_0 .

Определено, что при $X_0=0,7$ мм чувствительность преобразования в 1,5 раза выше, чем при $X_0=0,9$ мм. Одновременно зависимость $K_{АТГ}=f(Z)$ при $X_0=0,7$ мм более линейная, чем при $X_0=0,9$ мм. Зависимости нелинейные. Существенная нелинейность наблюдается на участках 0–50, 150–200 мкм. Для снижения погрешности линейности диапазон перемещения аттенуатора относительно ОВ необходимо ограничить участком 50–150 мкм, т.е. он будет приблизительно равен 100 мкм. Поэтому в процессе сборки ВОПД необходимо так расположить ОВ относительно зеркала аттенуатора, чтобы диапазон измерения лежал в пределах $0,25d_C - 0,75d_C$, где $d_C = 2r_C$, т.е. был равен $0,5d_C$.

Относительное изменение интенсивности светового потока $\Phi_1/\Phi_0=f(Z)$ в диапазоне измерения будет носить аналогичный характер.

Зависимость $K_{AT2}(Z)$ будет носить аналогичный характер зависимости $K_{AT1}(Z)$, но только обратный.

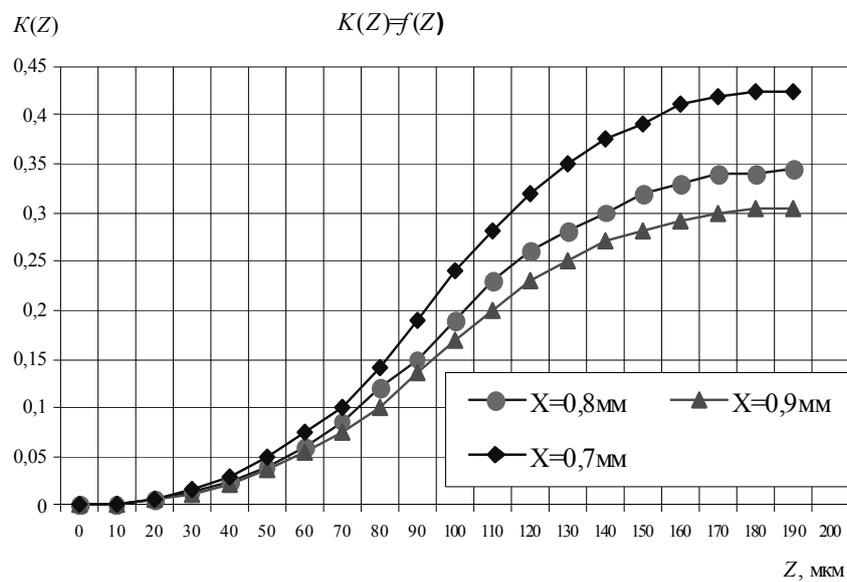


Рис. 6.13. Зависимости $K_{AT1}(Z)$

В ВОДД с отражательными аттенуаторами оптические волокна с одного конца объединены в один общий жгут, который располагается в зоне измерения напротив отражающей поверхности, изменяющей свое положение или форму под действием измеряемого давления. С противоположной стороны ОВ объединены в два жгута, один торец которых соединяется с ИИ, а другой – с ПИ.

Конструктивно-технологические решения и метрологические характеристики ВОДД определяются взаимным про-

странственным расположением приемных и передающих пучков ОВ.

Коаксиальное расположение ОВ в жгуте ВОК получило наибольшее распространение как наиболее простое по технологии изготовления. Одновременно оно наиболее целесообразно с точки зрения технологической процедуры формирования необходимой структуры светового потока. Изменение взаимного расположения ОВ в жгуте ВОК дает возможность изменять глубину модуляции оптического сигнала и чувствительность преобразования ВОДД.

Технологические процедуры позиционирования оптических волокон в рабочих торцах волоконно-оптического кабеля (ВОК) обеспечивают требуемые метрологические и эксплуатационные характеристики. За счет точности позиционирования расположения волокон удается снизить аддитивную составляющую погрешности ВОДД.

Разработанные способы компоновки ПОВ и ООВ в общем торце ВОК. Возможно несколько вариантов расположения ОВ в общем торце ВОК, например:

I вариант – четыре подводящих оптических волокна (ПОВ) и три отводящих оптических волокна (ООВ) (рис. 6.14, *а*);

II вариант – три ПОВ и четыре ООВ (рис. 6.14, *б*);

III вариант – одно ПОВ и шесть ООВ (рис. 6.14, *в*).

На основании математического моделирования определяется эффективная модель с точки зрения обеспечения максимальной чувствительности преобразования оптических сигналов.

С целью выбора оптимального варианта необходимо провести анализ влияния на процесс распределения светового потока взаимного расположения и количественного соотношения ПОВ и ООВ в пространстве ВОП с управляющим элементом в виде зеркальной поверхности.

Таблица 6.2

Определение способа позиционирования отводящих и подводящих ОВ

Области ПОВ	Области ООВ	Значения k, l	Интенсивность распределения светового потока
Рису- нок 6.14, a w_0, w_2, w_4, w_6	Рису- нок 6.14, a w_1, w_3, w_5	$k = 0, 2, 4, 6;$ $l = 1, 3, 5.$ $D = \bigcup_{l=1}^3 \bigcup_{k=0}^3 (KO_{2l-1} \cap KP_{2k})$	$\Phi(x) = \sum_{k=0}^3 \iint_D \varphi_{2k}(2x, y, z) dy dz$
Рису- нок 6.14, b w_2, w_4, w_6	Рису- нок 6.14, b $w_0, w_1,$ w_3, w_5	$k = 2, 4, 6;$ $l = 0, 1, 3, 5.$ $D = \bigcup_{k=l=1}^3 \bigcup_{k=0}^3 (KO_{2k-1} \cap KP_{2l}) \cup (KO_0 \cap KP_{2l})$	$\Phi(x) = \sum_{k=1}^3 \iint_D \varphi_{2k}(2x, y, z) dy dz$
Рису- нок 6.14, $в$ w_0	Рису- нок 6.14, $в$ $w_1, w_2,$ $w_3, w_4,$ w_5, w_6	$D = \bigcup_{l=1}^6 (KP_0 \cap KO_l)$	$\Phi(x) = \sum_{k=1}^3 \iint_D \varphi_{2k}(2x, y, z) dy dz$

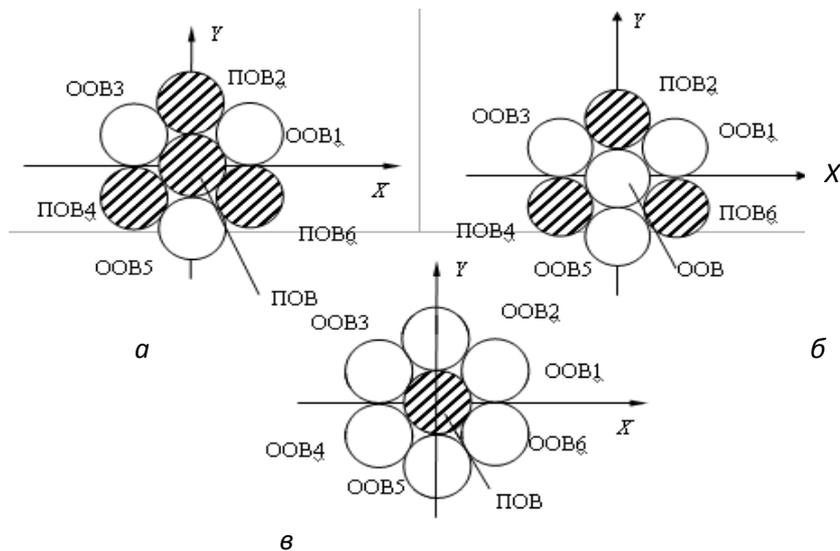


Рис. 6.14. Позиционирование ОВ в жгуте:

- ⊗ – сердцевина подводщего (излучающего) ОВ;
- – сердцевина отводящего (приемного) ОВ

Результаты моделирования в системе MathCad представлены на рис. 6.15, где $f4_3(z)$, $f3_4(z)$, $f1_6(z)$ – зависимости интенсивности светового потока от расстояния для схем, приведенных на рис. 6.14, а, 6.14, б, 6.14, в соответственно.

Таким образом, при одном и том же количестве ОВ в жгуте, равном семи, эффективность вариантов б и в в 1,5 раза выше варианта а. Именно такое расположение волокон в общем торце ВОК обеспечивает максимальные чувствительность преобразования и выходную мощность оптического сигнала, так как каждое из излучающих волокон дает максимальный вклад в отклик ПИ.

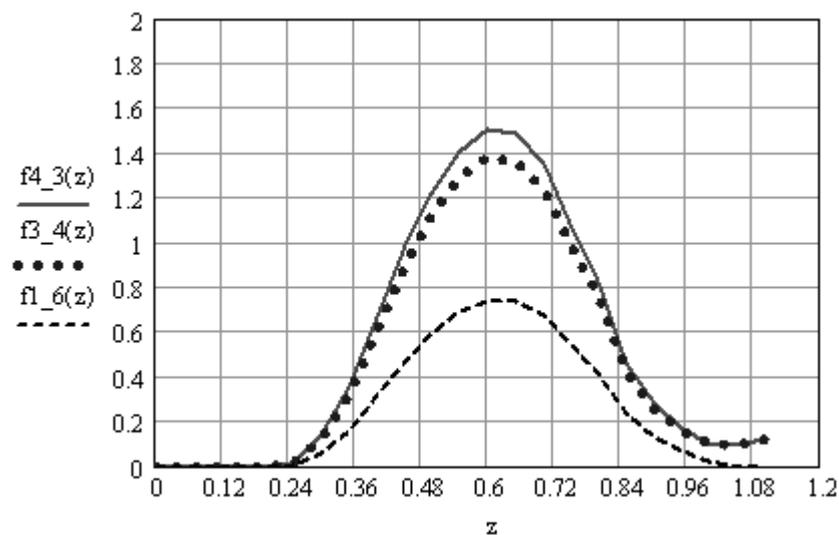


Рис. 6.15. Результаты моделирования ВОПП

Конструктивно-технологическая реализации экспериментальных образцов дифференциальных волоконно-оптических датчиков давления аттенуаторного типа

Одним из основных принципов конструктивно-технологической унификации является блочно-модульный принцип построения, реализуемый в предлагаемых датчиках давления.

В состав датчика давления входит волоконно-оптический преобразователь давления ВОПД, волоконно-оптический кабель ВОК и согласующее устройство СУ. Датчик посредством электрического разъема соединяется с блоком преобразования информации БПИ.

ВОПД предназначен для преобразования измеряемого давления в изменение интенсивности светового потока, ВОК – для передачи светового потока от источника излучения в зону измерения и обратно к приемнику излучения,

СУ – для преобразования электрического сигнала в оптический и оптического в электрический. БПИ служит для питания элементов СУ и преобразования электрического сигнала с выхода СУ в стандартный электрический сигнал, например 0–6 В.

Разработано несколько вариантов дифференциального ВОДД аттенуаторного типа: с предельными и отражательными аттенуаторами. На рис. 6.16 представлен общий вид одного из вариантов дифференциального ВОДД аттенуаторного типа.

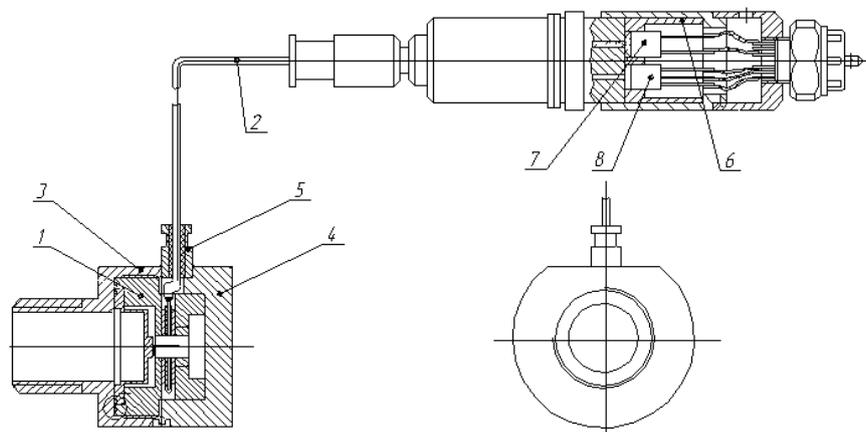


Рис. 6.16. Общий вид ВОД избыточного давления

ВОДИД состоит из блока мембранного 1, волоконно-оптического кабеля ВОК 2, штуцера 3, корпуса 4, втулки 5, и согласующего устройства (в котором расположены фотодиоды и светодиод).

Блок мембранный 1 состоит из корпуса, мембраны и аттенуатора (шторки). Мембрана выполнена из сплава 36НХТЮ, корпус и аттенуатор – из стали 12Х18Н10Т.

Аттенюатор крепится к мембране посредством импульсной сварки. Мембрана со шторкой устанавливается в корпус и соединяется с ним сваркой. Отверстие в аттенюаторе $\varnothing 0,5$ мм выполняется после установки мембраны в корпусе блока. После укладки волокон ВОК мембранный блок устанавливается в корпус 4, в котором имеется выемка для укладки ВОК.

Корпус датчика сборный, состоит из двух частей, соединенных между собой с помощью сварки. Штуцер 3 и корпус 4 выполнены из стали 12Х18Н10Т.

Штуцер 3 устанавливается в корпус датчика, затем протягивают кабель. Свободное пространство штуцера заполняется компаундом «Виксинт» или герметиком.

Согласующее устройство представляет собой держатель 6, в который вклеены светодиод 7, рабочий и компенсационный фотодиоды 8. Фотоблок присоединяется к БПИ с помощью розетки типа МР1-10-5-В. К контактам розетки подпаиваются выводы светодиода и фотодиодов.

С целью повышения герметичности штуцера 3 паз в верхней части корпуса 4 смещен вниз, а также для того, чтобы при сварке штуцера и корпуса уменьшить вероятность повреждения волокна вследствие высокой температуры. Для упрощения процесса юстировки назначены жесткие допуски на соосность отверстий в мембранном блоке. Габаритные размеры датчика 35×45×40 мм. Длина волоконно-оптического кабеля 2–200 м.

Датчик имеет простую, надежную конструкцию, не требует сложных технологических, юстировочных и измерительных операций при изготовлении оптической части, имеет дешевую компонентную базу – многомодовые оптические волокна.

Унифицированные конструкции волоконно-оптического кабеля и согласующего устройства позволяют при несущественных изменениях конструкции волоконно-оптиче-

ского преобразователя давления отражательного типа создавать ВОДД на разные диапазоны измерения.

Литература

1. Бадеева Е.А., Коломиец Л.Н., Кривулин Н.П., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г. Разработка теории распределения светового потока в оптической системе волоконно-оптических преобразователей физических величин отражательного типа: монография / Под общ. ред. проф. Т.И. Мурашкиной. – ИИЦ ПГУ, 2008 – 85 с.

2. К реализации дифференциального преобразования сигналов в волоконно-оптических преобразователях давления отражательного типа / Коломиец Л.Н., Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И. // Датчики и системы. – 2007. – № 3. – С. 26-28.

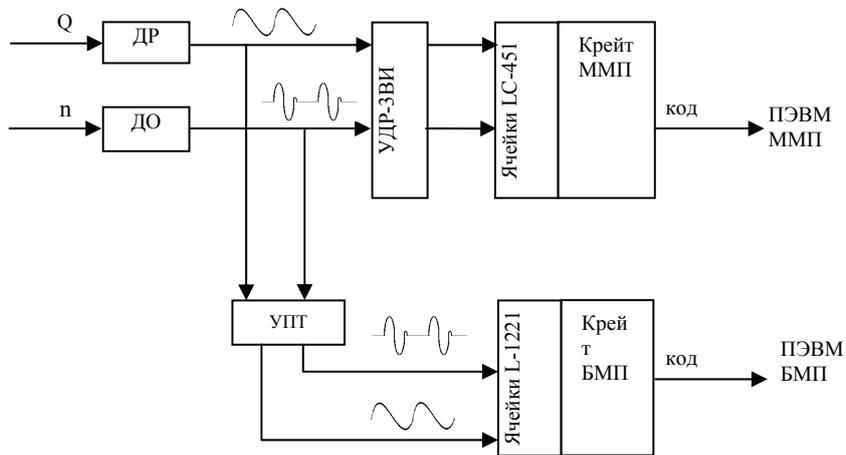
3. Патент РФ № 2290605, МПК6 G01 L 19/04 Волоконно-оптический преобразователь перемещения/ А.Г. Пивкин, Т.И. Мурашкина, Е.А. Бадеева / Оpubл.27.12.2006. Бюл. № 36.

6.5. Система мониторинга аналоговых сигналов датчиков расходов (ДР) и датчиков оборотов (ДО) в реальном времени с регистрацией и последующей бесконтактной калибровкой каналов измерения ДР и ДО в ИИС, ИУС и САЗ при отработках ЖРД и их агрегатов

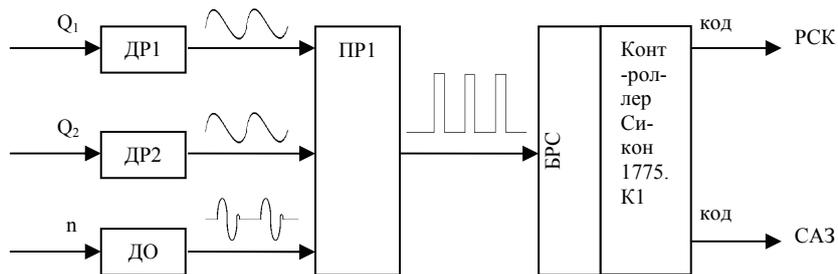
В.Я. Краско

Параметры измерения расходов компонентов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и оборотов турбонасосных агрегатов (ТНА) являются одними из основных измеряемых в стендовых информационно-измерительных системах (ИИС), информационно-управляемых системах (ИУС) и системах аварийной защиты (САЗ) при проведении испытаний ЖРД и их агрегатов. Эти параметры определяют основные характеристики ЖРД и его агрегатов: расходы и соотношение компонентов, удельную тягу ЖРД и напорную характеристику ТНА.

При этом необходимо отметить, что процесс преобразования аналоговых сигналов тахометрических датчиков расходов (ДР) и датчиков оборотов (ДО) в импульсные в преобразователях стендовых ИИС и ИУС является важным моментом, его необходимо контролировать. Поэтому для надежного преобразования аналога в импульс, от которого зависит точность измерения расходов и оборотов, необходимо с каждого датчика иметь индивидуальные осциллограммы с отображением формы и амплитуды сигналов на различных режимах работы ЖРД и его агрегатов, исходя из того, что в реальных условиях и на реальных компонентах (в отличие от воды) эти параметры существенно меняются из-за воздействия температур (особенно криогенных), вибраций, влажности, емкости подключаемых кабелей и электрических магнитных помех, искажающих полезный сигнал.



а



б

Рис. 6.17. Блок-схема преобразователя аналогово-импульсных сигналов

При проведении испытаний указанных изделий в НИЦ РКП для преобразования аналоговых сигналов датчиков расходов и оборотов используются аналогово-импульсные преобразователи в стендовых ИИС типа УДР-3ВИ, а в ИУС и САЗ типа ПР-1 (разработки НИЦ РКП) с последующей регистрацией и обработкой как частотных параметров через мо-

дульно-крейтовые системы типа L-Card в ИИС-106 и контроллеры типа Сикон 1775.К1 в ИУС-106. При этом преобразование и регистрация в стендовых ИИС производится по схеме, представленной на рис. 6.17, *а*, а в стендовых ИУС, САЗ – по схеме, представленной на рис. 6.17, *б*. Аналогичные преобразования с регистрацией используются на предприятиях нашей отрасли.

Аналоговые сигналы с ДР и ДО на входе УДР-ЗВИ распараллеливаются, в УДР-ЗВИ они преобразуются в импульсы и поступают в систему L-Card через частотные ячейки LC-451, которые преобразуют частоту в код для регистрации и обработки в ПЭВМ медленноменяющихся параметров (ММП), а через усилитель переменного тока (УПТ) также аналоговые сигналы поступают в систему L-Card через ячейки L-1221, где преобразуются в код и регистрируются в аналоговом виде на ПЭВМ быстроменяющихся параметров (БМП). После проведения испытаний изделий аналоговые сигналы ДР и ДО воспроизводятся на различных режимах, анализируются формы и амплитуды сигналов. Одновременная регистрация частотных и аналоговых сигналов в стендовых ИИС повышает достоверность и точность измерения и обработки расходов и оборотов, существенно упрощает анализ исправной (или неисправной) работы каналов измерения ДР, ДО – в системах измерения и управления, и в случаях сбоев преобразователя УДР-ЗВИ из-за дефектного сигнала с ДР (ДО) или неправильно настроенного порога по напряжению преобразователя вторичную обработку производят по зарегистрированным аналоговым сигналам на ПЭВМ БМП, что неоднократно делалось при отработке ТНА на стенде В2 НИЦ РКП. Недостатком схемы на рис. 6.17, *а* является то, что распараллеливание аналогового сигнала на различные системы ПЭВМ ММП и БМП снижает надежность измерений, так как отказ одной системы может отрицательно повлиять на другую систему.

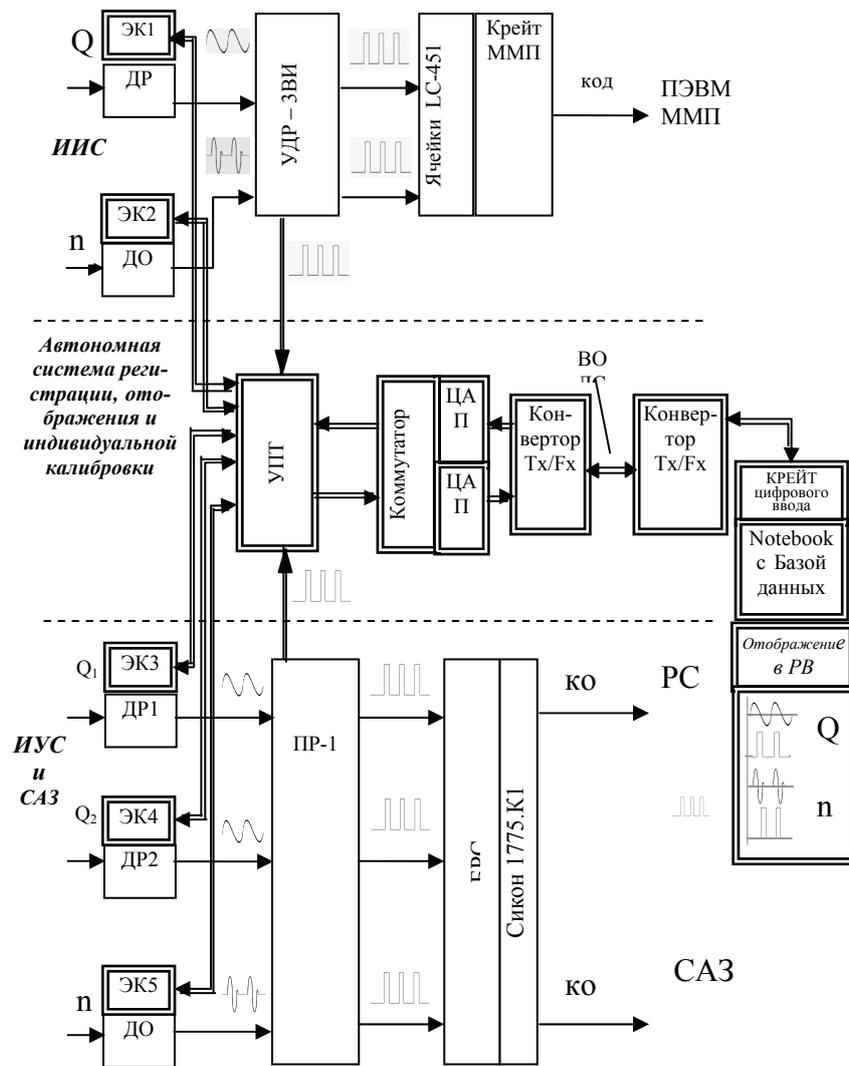


Рис. 6.18. Устройство автономной регистрации аналоговых сигналов

По схеме рис. 6.17, б аналоговые сигналы поступают на преобразователь ПР-1, где преобразуются в импульсные и через блок размножения сигналов (БРС) регистрируются на контроллере Сикон 1775.К1, затем с него частотные сигналы ДР и ДО поступают в систему регулирования соотношения компонентов (РСК) и САЗ. При этом регистрация аналоговых сигналов ДР и ДО не производится. Поэтому в случае поступления дефектных сигналов в ИУС и САЗ с ДР и ДО или сбоях ПР-1 проанализировать работу канала измерений ДР (ДО) – ПР-1 – Сикон 1775.К1 и локализовать отказ не представляется возможным, что не позволяет уверенно проводить дальнейшие испытания ЖРД и их агрегатов. Данная схема, что очевидно, обладает еще большим недостатком, чем схема по рис. 6.17, а.

Для устранения недостатков по схемам рис. 6.17, а, б предлагается устройство автономной регистрации аналоговых сигналов с ДР и ДО (по схеме рис. 6.18), которое имеет гальваническую развязку с каналами измерения ДР и ДО в стендовых ИИС и ИУС за счет электрических катушек (ЭК1–ЭК5), которые надеваются на магнитные узлы ДР и ДО. Аналоговые сигналы с них через УПТ с барьерами искрозащиты поступают на многоканальный АЦП, затем через инвертор, волоконно-оптическую систему (ВОЛС) регистрируются через встроенный крейт на ноутбуке и в базу данных (БД) аналоговых индивидуальных сигналов.

Одновременно с этим с преобразователей УДР-ЗВИ и ПР-1 в автономную систему регистрации вводятся и регистрируются через оптроны и сформированные импульсные сигналы, которые отображаются в реальном времени в Notebook вместе с аналоговыми и при необходимости более тщательно при вторичной обработке для оперативного анализа. Зарегистрированные на первой, как правило, холодной работе, в базе данных индивидуальные аналоговые сигналы расходов и оборотов в цифровом виде при подготовке к испытаниям из базы данных через конверторы T_x / F_x , ВОЛС,

ЦАП, коммутатор, УПТ в аналоговом виде (амплитуда, форма сигнала и частота) подаются соответственно через электрические катушки ЭК1–ЭК5 на соответствующие входы с расходомеров и датчиков оборотов в ИИС, ИУС и САЗ.

Таким образом производится калибровка указанных систем индивидуальными рабочими сигналами (по амплитуде и форме), которые были зарегистрированы на холодных работах, а не синусоидальными со звуковых генераторов. При этом, очевидно, условия калибровок максимально приближаются к рабочим, тем самым существенно повышается надежность работы стендовых систем ИИС, ИУС и САЗ.

Кроме того, дальнейшие исследования зарегистрированных аналоговых сигналов и анализ работы преобразователей типа УДР-ЗВИ и ПР-1 с помощью предлагаемой аппаратуры позволят разрабатывать более совершенные преобразователи сигналов ДР и ДО с использованием новых алгоритмов работы и микропроцессорной техники, а также эти сигналы можно будет использовать и в диагностике исправной (неисправной) работы турбинных расходомеров и ТНА.

6.6. Оценка возможных погрешностей волоконно-оптических датчиков давления аттенюаторного типа

Т.И. Мурашкина, А.Г. Пивкин, И.С. Рубцов

Любой инженерно-технический объект (ИТО), в особенности сложный и многофункциональный, нуждается в экспериментальной отработке и проверке заложенных в него проектных решений и расчетов. Решающую роль в проведении такого «experimentum crucis» определяют датчики. В последние годы как в России, так и в зарубежных странах (США, Германия, Япония) развивается и формируется новая и весьма перспективная область информационно-измерительного приборостроения, основанного на волоконно-оптической технике (ВОТ). В зарубежных ведущих странах

проводятся работы по созданию волоконно-оптических датчиков (ВОД) для измерения различных физических параметров на ИТО [1-9].

В России также проводятся работы по волоконно-оптической измерительной технике на протяжении последних 30 лет [10-17]. Достигнуты определенные успехи в области создания ВОД. Дальнейшее совершенствование информационно-измерительной техники требует внедрения волоконно-оптических средств измерения, в том числе волоконно-оптических датчиков давления (ВОДД) как наиболее продвинутое направление в России.

Проблемами создания волоконно-оптических датчиков занимались и в настоящее время занимаются как зарубежные, так и отечественные ученые: А.В. Бадеев, В.Д. Бурков, В.И. Бусурин, М.М. Бутусов, А.В. Гориш, М. Гречишников, В.Г. Жилин, Е.А. Зак, Н.Е. Конюхов, Я.В. Малков, Т.И. Мурашкина, А.Л. Патлах, А.Г. Пивкин, В.Т. Потапов, В.В. Редько, М.Е. Удалов и др. Имеются определенные научно-технические и технологические материалы по конструированию ВОДД [10-17].

На стадии проектирования ВОДД необходимо проводить тщательный метрологический анализ будущего датчика, принять соответствующие технологические, конструктивные и схемные решения по снижению возможных погрешностей.

По виду входных и выходных сигналов интерфейса, соединяющего датчики с внешней регистрирующей аппаратурой, ВОДД делят на два типа: с электрическими и оптическими интерфейсами.

В первом случае ВОДД состоит из волоконно-оптического преобразования давления (ВОПД) и оптоэлектронного блока (ОЭБ) (рис. 6.19). Входные и выходные сигналы такого датчика электрические.

Во втором случае ВОДД представляет собой собственно ВОПД, входные и выходные сигналы которого оптические.

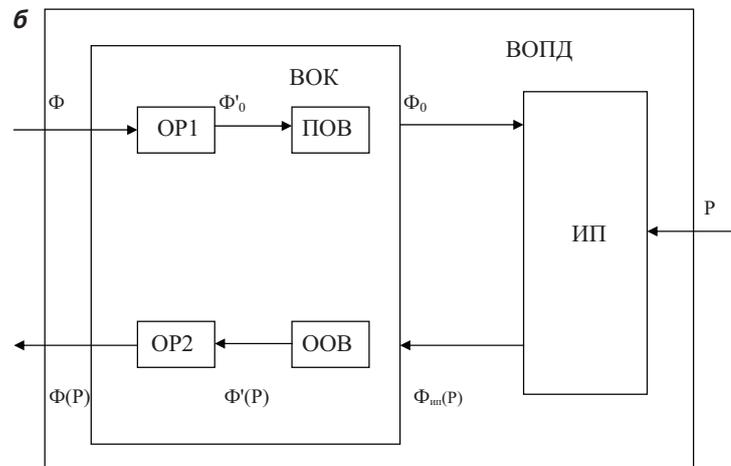
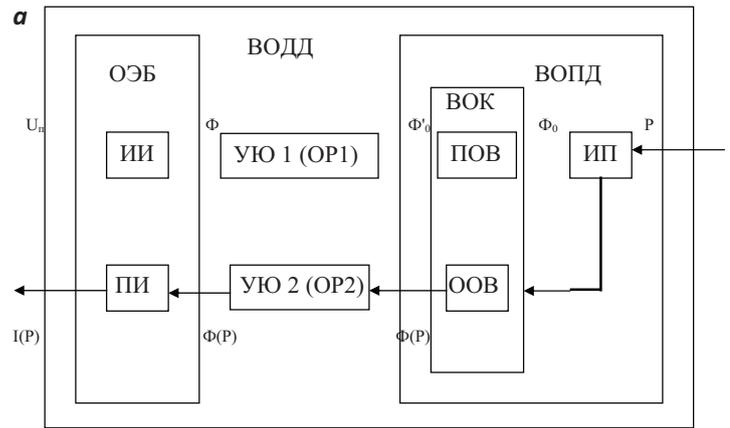


Рис. 6.19. Структурно-аналитические модели ВОДД с одним измерительным каналом:
а – с электрическим входом и выходом; *б* – с оптическим входом и выходом

ВОПД состоит из измерительного преобразователя (ИП) и волоконно-оптического кабеля (ВОК). ВОК представляет собой жгут подводящих (ПОВ) и отводящих оптических волокон (ООВ). Оптоэлектронный блок состоит из источника излучения (ИИ) и приемника излучения (ПИ), выполняющих функцию электрооптического и фотоэлектрического преобразователей соответственно. Для эффективной передачи светового потока от источника излучения к ПОВ и от ООВ к приемнику излучения конструктивно в состав датчика вводятся узлы юстировки УЮ1 и УЮ2. Если в узлах юстировки отсутствуют подвижные элементы для юстировки, то они выполняют роль стыковочных элементов. В этом случае их называют оптическими разъемами (ОР).

В оптических ВОДД концы передающих и отводящих волокон ВОК исполняются в соответствии с ГОСТом [17]. На блок-схеме они показаны как (ОР1 и ОР2) (см. рис. 6.19, б).

Принцип функционального действия ВОДД с электрическим интерфейсом следующий: электрический сигнал U_n , поступающий на вход ОЭБ датчика, преобразуется с помощью электрического преобразователя излучения в оптический сигнал Φ , часть которого Φ_0 попадает на вход волоконно-оптического кабеля ВОК. По ПОВ световой поток попадает в зону измерения, где его интенсивность Φ_0 изменяется под воздействием давления P . Часть светового потока $\Phi_{ин}(P)$, промодулированного в функцию контролируемого давления P , поступает в ООВ, передается по ним к приемнику излучения, в котором происходит фотоэлектрическое преобразование. С выхода ОЭБ измеряется электрический сигнал $I(P)$.

Таким образом происходят преобразования в соответствии с рис. 6.20:

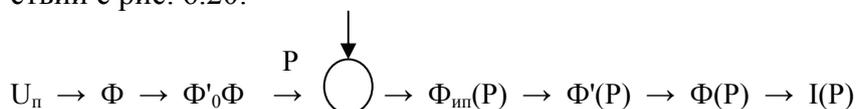


Рис. 6.20. Модель функции преобразования ВОДД

Модель функции преобразования электрического ВОДД реализуется зависимостью тока приемника излучения I от воздействующего давления P и множества сопутствующих внешних факторов ξ :

$$(P, \xi) = P_{III} \eta(\lambda) \Phi(P, \xi_i) S_{III} \} \rightarrow (1)$$

где P_{III} – мощность светового потока ИИ;

$\eta(\lambda)$ – коэффициент спектрального согласования элементов ВОД;

$\Phi(P, \xi_i)$ – функция преобразования ВОПД;

S_{III} – интегральная токовая чувствительность ПИ.

В отличие от электрического в оптическом ВООД отсутствует ОЭБ, а это обуславливает потери светового потока в оптических разъемах.

На вход датчика попадает оптический сигнал Φ от внешнего устройства, и с выхода снимается также оптический сигнал $\Phi(P)$, интенсивность которого пропорциональна измеряемому давлению P .

Здесь происходят следующие преобразования (рис. 6.21).

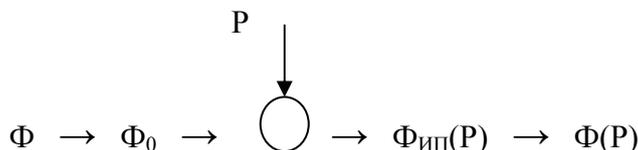


Рис. 6.21. Модель преобразования оптического сигнала Φ

В общем случае функция преобразования ВОПД:

$$\Phi(P, \xi_i) = K_{ИС}(\xi_i) K_{СП}(\xi) K_{ИП}(P, \xi_i) \Phi_o \} \rightarrow (2)$$

где $K_{ИС}(\xi_i) K_{СП}(\xi)$ – коэффициенты преобразования оптических трактов «источник излучения – подводящее оптическое

волокно» и «отводящее оптическое волокно – приемник излучения» соответственно;

$K_{инт}(P, \xi_i)$ – функция преобразования измерительного преобразователя.

Требуемая (номинальная) функция преобразования ВОДД в общем случае имеет следующий вид:

– для ВОДД с электрическим выходом (см. рис. 6.19, а):

$$J_H = F(P);$$

– для ВОДД с оптическим выходом (см. рис. 6.19, б):

$$\Phi_H = F(P).$$

В реальных условиях на результат измерения будут оказывать влияние погрешности изготовления q_i отдельных структурных элементов и узлов датчика, внешние помехи и влияющие факторы ξ_i , помехи v_i , возникающие в самом датчике. Следовательно, реальная функция преобразования должна конструктивным исполнением учитывать влияние перечисленных факторов на результат измерения. При этом функции преобразования ВОДД будут иметь следующий вид:

– с электрическим выходом:

$$J_P = F(P, \xi_i, q_i, v_i), \quad (3)$$

– с оптическим выходом:

$$\Phi_P = F(P, \xi, q_i v_i). \quad (4)$$

Погрешности преобразования ВОДД будут определяться:

– с электрическим выходом:

$$\Delta J = J_P - J_H, \quad (5)$$

– с оптическим выходом:

$$\Delta \Phi = \Phi_P - \Phi_H. \quad (6)$$

Определим зависимости, обуславливающие реальные функции преобразования. Для этого на основании структурно-аналитических моделей (см. рис. 6.19) составим метрологические модели датчиков (рис. 6.22, 6.23).

В соответствии с метрологическими моделями реальные функции преобразования ВОП будут иметь вид:

– с электрическим выходом:

$$J_P = P_{III} (1 + \delta P_{III}) (\Delta_1 + K_{ИС}) (1 + \delta K_{ИС}) (\Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_{Л} + K_{III}) \times \\ \times (1 + \delta K_{III}) (\Delta_4 + K_{СП}) (1 + \delta K_{СП}) [(1 + \delta \eta(\lambda)) (\Delta_5 + S_{III}) (1 + \delta S_{III})] P, \quad (7)$$

– с оптическим выходом:

$$\phi_P = \Phi_0 (\Delta_1 + K_{ИС}) (1 + \delta K_{ИС}) (\Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_{Л} + K_{III}) \times \\ \times (1 + \delta K_{III}) (\Delta_4 + K_{СП}) (1 + \delta K_{СП}) P, \quad (8)$$

где Δ_1 – погрешность юстировки ИИ относительно ПОВ;
 Δ_2 – погрешность юстировки ПОВ относительно ИП;
 Δ_3 – аддитивная погрешность из-за неточности изготовления конструктивных элементов ИП;
 Δ_4 – погрешность юстировки ИП относительно ООВ;
 Δ_5 – погрешность юстировки ООВ относительно ПИ;
 $\Delta_{Л}$ – погрешность линейности функции преобразования ИП;
 $\delta K_{ИС}, \delta K_{СП}$ – погрешности, обусловленные изменением светопропускания ПОВ и ООВ соответственно, при изгибах ВОК, воздействии ударов, вибрации, линейного ускорения и т.п.;
 δK_{III} – мультипликативная погрешность ИП, обусловленная изменением параметров ИП при изменении темпера-

туры окружающей среды, воздействию ударов, вибраций, линейных ускорений и т.п.;

δP_{III} – погрешность, обусловленная изменением мощности и диаграммы излучения ИИ при изменении температуры окружающей среды, напряжения питания и т.п.;

$\delta \eta(\lambda)$ – погрешность спектрального согласования ИИ и ПИ при изменении температуры окружающей среды;

δS_{III} – погрешность от изменения интегральной токовой чувствительности ПИ при изменении температуры окружающей среды, напряжения питания и т.п.;

X – измеряемое давление.

С учетом уравнений (1) и (7) выражение (5) примет вид:

$$\Delta J = K_{ис} \Delta_1 + K_{III} (\Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4) + K_{СП} \Delta_4 + S_{III} (\Delta_5 + \Delta_6) + (\delta P_{III}) P_{III} + (\delta K_{ис}) K_{ис} + [\delta \eta(\lambda) \eta(\lambda) + [\delta K_{СП} + \delta K_{III} + \delta S_{III}] P]. \quad (9)$$

Соответственно, уравнение (6) с учетом зависимостей (4) и (8) переписывается:

$$\Delta \Phi = K_{ис} \Delta_1 + K_{III} (\Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4) + K_{СП} \Delta_4 + (\delta K_{ис}) + (\delta K_{СП} + \delta K_{III}) P \quad (10)$$

Мультипликативная составляющая погрешности ВОДД составляет [16]:

– с электрическим выходом:

$$\delta J = \sqrt{\delta P \delta P_{III}^2 + \delta K_{ис}^{-2} + \delta K_{III}^2 + \delta K_{СП}^2 + \delta^2 \eta(\lambda) + \delta S_{III}^2} \quad (11)$$

– с оптическим выходом:

$$\delta \Phi = \sqrt{\delta K_{ис}^2 + \delta K_{III}^2 + \delta K_{СП}^2} \quad (12)$$

Аддитивная составляющая погрешности ВОДД записывается:

– с электрическим выходом:

$$\Delta J_a = K_{ИС} \Delta_1 + K_{ИП} (\Delta_2 + \Delta_3) + K_{СП} \Delta_4 + S_{ИП} (\Delta_5 + \Delta_6), \quad (13)$$

– с оптическим выходом:

$$\Delta \Phi_a = K_{ИС} \Delta_1 + K_{ИП} (\Delta_2 + \Delta_3) + K_{СП} \Delta_4. \quad (14)$$

Нелинейная составляющая ВОДД запишется:

– с электрическим выходом:

$$\Delta J_{Л} = K_{ИП}(P) \Delta_{Л}, \quad (15)$$

– с оптическим выходом:

$$\Delta \Phi_{Л} = K_{ИП}(P) \Delta_{Л}. \quad (16)$$

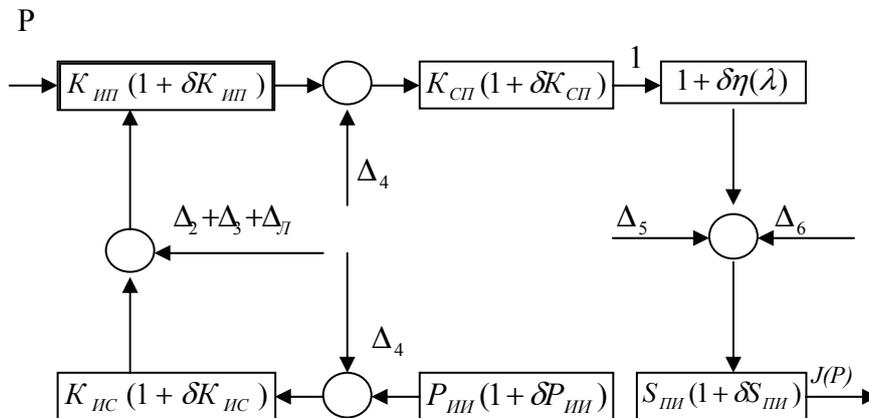


Рис. 6.22. Метрологическая модель волоконно-оптических датчиков давления с электрическим выходом

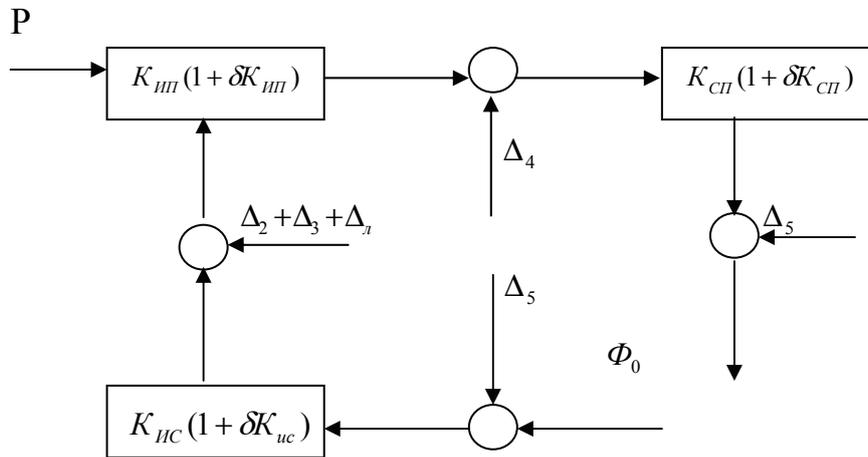


Рис. 6.23. Метрологическая модель волоконно-оптических датчиков давления с оптическим выходом

Аддитивная и нелинейная составляющие погрешности не влияют на результат измерения, если в нормативно-техническую документацию на датчик (ТУ, ТО) вносится градуированная характеристика датчика, смещенная вдоль оси ординат относительно номинальной функции преобразования на величину аддитивной погрешности. Если в документацию внесена номинальная функция преобразования в виде аналитической зависимости, то необходимо учитывать данные погрешности, например, при обработке результатов измерений, с целью их исключения.

Причины возникновения погрешности юстировки ИИ (Δ_1) относительно ПОВ будут обуславливать возможные механические рассогласования при сборке ВОПД. Насколько жесткие требования предъявляются к узлу юстировки, это понятно из приведенного на рис. 6.24, а) графика роста потерь P_r на ввод излучения в зависимости от радиального рассогласования Δ_r оптических волокон ($NA = 0,14$) со ступенчатым профилем и малыми потерями и центра излучаю-

щей площадки светодиода диаметром 50 мкм [17]. Выходное соединение крайне чувствительно к радиальному рассогласованию. Для получения потерь меньше 1 дБ это рассогласование необходимо обеспечивать меньше 20 мкм. Несоосность ОВ и светодиода в 50 мкм приводит к увеличению потерь на ввод до 8 дБ. Влияние разъединения ИИ и ОВ в осевом направлении Δl углового рассогласования Δ_ϕ оси источника относительно оси ОВ на потери P_1 и P_ϕ при вводе показано на рис. 6.24, б, в. Эффективность ввода в соединении сравнительно нечувствительна к разъединению ОВ и светодиода. Например, увеличение зазора между светодиодом и ОВ на 15 мкм увеличивает потери в соединении меньше, чем на 1 дБ, в то время как наклон оси ОВ по отношению к поверхности светодиода на угол порядка 10° увеличивает потери примерно на 0,25 дБ. Эти данные хорошо согласуются с характерными для ламбертовских источников излучения диаграммами направленности излучения. Данные, приведенные на рис. 6.24, свидетельствуют о наибольшей чувствительности потерь при вводе излучения светодиода с плоской излучающей площадкой к радиальному рассогласованию Δr .

Самую большую погрешность (до 10%) обуславливают радиальные рассогласования ИИ и ПОВ. Продольные и угловые рассогласования вносят незначительную погрешность (не более 1%), если не превышают 10% от диаметра жгута или апертурного угла ОВ.

Погрешности $\Delta_2 - \Delta_4$ в значительной степени зависят от конструктивного исполнения ИП. В процессе проектирования необходимо предусмотреть такие конструктивно-технологические и схемные технические решения, которые позволят снизить указанные погрешности. Ввиду того, что в каждом конкретном случае конструкции ИП могут отличаться друг от друга, то и способы снижения их в каждом случае различны.

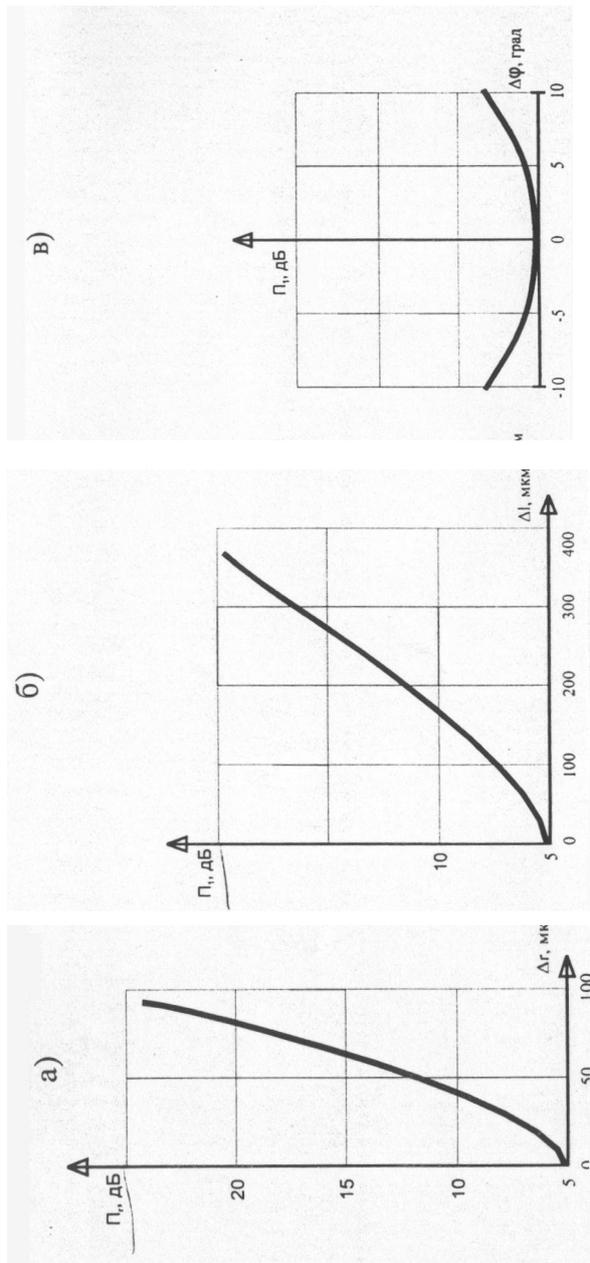


Рис. 6.24. График роста потерь на ввод излучения в зависимости:

a – от радиального рассогласования $\Delta r'$;

б – от продольного разъединения Δr ; *в* – от углового рассогласования $\Delta \varphi$

Погрешность Δ_5 можно практически свести к нулю, если площадь торца жгута ООВ будет значительно меньше площади приемной светочувствительной площадки ПИ (это реализуется конструктивно).

Погрешности $\Delta_1 - \Delta_5$ могут быть существенно снижены в процессе сборки датчиков точной юстировкой элементов конструкции.

Погрешность спектрального согласования источника и приемников излучения Δ_6 может быть полностью исключена, если диапазон длины волны источника излучения соответствует диапазону спектральной чувствительности приемника излучения. Например, анализ спектральных характеристик инфракрасного светодиода 3Л107Б и фотодиодов КФДМ, ФД-19КК, ФД-32К экспериментально показал, что спектральная характеристика интегральной чувствительности фотодиода ФД-32К не соответствует спектральной характеристике светодиода 3Л107Б, т.е. коэффициент спектрального согласования $\eta(\lambda)$ практически равен нулю. Спектральный диапазон фотодиода ФД-19КК частично совпадает со спектром светодиода 3Л107Б, и коэффициент спектрального согласования составляет $\eta(\gamma) \approx 0,5$. Лучший парой светодиоду 3Л107Б по коэффициенту спектрального согласования является фотодиод КФДМ, спектральный диапазон чувствительности которого полностью перекрывает диапазон излучения светодиода 3Л107Б и в этом случае $\eta(\lambda) \approx 1$.

Мультипликативная погрешность $\delta\eta(\lambda)$ спектрального согласования источника и приемников излучения при изменении температуры окружающей среды в диапазоне $\pm 50^\circ\text{C}$ может достигать 25–30% (например, для пары светодиод 3Л107Б – фотодиод ФД-19КК). Но она может быть существенно снижена, если применять двухплощадочные фотодиоды, каждая из светочувствительных площадок которых включена в один из измерительных каналов дифференциаль-

ной схемы и к которой подведены ООВ соответствующих измерительных каналов.

Мультипликативные погрешности δP_{III} , δK_{III} , δS_{III} при изменении параметров окружающей среды могут достигать до 30%, а в отдельных случаях до 50% от результата измерения, если не принять соответствующих мер. Но так как они носят систематический характер, поэтому могут быть снижены до допустимых значений. Вопросы снижения указанных погрешностей подробно представлены в работах [14, 16]. Для снижения этих погрешностей реализуют различные схемотехнические решения: дифференциальное исполнение измерительной схемы датчика, введение дополнительных схем коррекции и т.п. Погрешности $\delta K_{ИС}$, $\delta K_{СП}$, обусловленные изменением светопропускания ОВ при неинформативных изгибах ВОК, можно исключить, если только изгибы волокон незначительны (не менее 10 диаметров волокна). Большие изгибы ВОК вызывают существенное снижение интенсивности светового потока, поступающего в зону измерения, что снижает глубину модуляции оптического сигнала в процессе измерения. Поэтому при изготовлении и эксплуатации ВОДД необходимо принять все возможные схемные и конструктивно-технологические меры для исключения неинформативных изгибов ВОК.

Мультипликативная погрешность δK_{III} , обусловленная изменением параметров измерительного преобразователя при изменении параметров окружающей среды и воздействии механических факторов, в каждом конкретном конструкторско-технологическом случае может быть оценена для проектируемых типов измерительных преобразователей и конструкторско-технологическими путями сведена до допустимых значений.

Выводы

Таким образом, научно-технологический и метрологический анализ ВОДД показал, что если в процессе проектирования учесть причины возникновения погрешностей, то представляется возможным как в процессе проектирования, так и в процессе обработки измерительной информации существенно снизить различные составляющие погрешности измерения ВОДД до допустимых значений.

Литература

1. *Toshiko Yoshino*. Optical fiber sensors for electric industry // SPIE, v.798 Fiber Optic Sensors II, p. 258-256, 1987.
2. *Rogers A.J.* Optical fiber current measurement // Intern. Journ. Optoelectronics, vol. 3, № 5, p. 120-126, 1998.
3. *Takada H., Miyamoto S., Tomimasu T.* Application on fibre-optic magnetic-field sensor to kicker magnet // Phys. E. Sci Instrum., v. 21, p. 371-374, 1988.
4. *Papp A., Harms H.* Magneto-optical current transformer, Appl. Optics, vol. 19 (I:Principles), p.3729; (II:Components), 3735; (III:Measurements), p. 3741, 1980.
5. *Азам Р., Башара Н.* Эллипсометрия и поляризованный свет / Пер. с англ. – М.: МИР, 1981.
6. *C.M.M. van den Tempel* «Model of new temperature-compensated optical current sensor using Bi₁₂SiO₂₀», Appl. Optics v.32, No.25 Sept. 1993, p. 4869-4874.
7. *Patterson R.L., Rose A.N., Tang D., Day G.W.* A Fiber-Optic Current Sensor for aerospace Application to Fault Location Systems», IEEE AES System Magazine, December 1990.
8. *Yamagata Y., Oshi T., Katsukawa H., Kato S., Sakurai Y.* Development of Optical Current Transformer and Application to Fault

Location Systems for Substations, IEEE Trans. Of Pomer Del., vol. 8, № 3 July 1993.

9. *Mitsui N., Hosoe K., Usami H., Miyamoto S.* Development of fiber-optic voltage and magnetic-field sensors, IEEE Trans. of Power Delivery, v. PWRD-2, № 1, p. 87-93, 1987.

10. *Бурков В.Д., Котов А.Н., Удалов М.Е., Микитан Ю.В.* Н4. Математическое моделирование чувствительного элемента волоконно-оптического датчика магнитного поля и электрического тока // XXIX Международная конференция и дискуссионный научный клуб». Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе, 2002. – С. 174-176. – МГУЛ, Московская область.

11. *Котов А.Н.* Тенденция современного развития ВОД // VIII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика – 2002 (РИ-2002)»: материалы конференции, часть 2, с.17, 26-29 ноября 2002. Санкт-Петербург.

12. *Котов А.Н.* Требования к элементной базе информационно-измерительного волоконно-оптического канала бортового базирования // Информационно-измерительная техника, экология и мониторинг, научные труды. Вып. 6 (2003). – С. 275-285. – М.: Росавиакосмос, Москва.

13. *Малков Я.В., Бурков В.Д., Кузнецов В.И., Котов А.Н., Потапов В.Т., Гориши А.В., Егоров Ф.А.* Микрорезонаторный волоконно-оптический датчик магнитных полей RU № 215712, опубл. 10.10.2000, бюл. № 28.

14. *Бадеева Е.А., Гориши А.В., Котов А.Н., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г.* Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом: монография.– М.: МГУЛ, 2003. – 246 с.

15. *Бадеева Е.А.* Классификация амплитудных волоконно-оптических преобразователей / Е.А. Бадеева, Т.И. Мурашкина, В.А. Мещеряков // Датчики и системы. ИКА. – 2003. – № 2. – С. 20-25.

16. *Мурашкина Т.И.* Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических измерительных приборов и систем: Учеб. пособие. – Пенза: ПГУ, 1999.

17. ГОСТ Р В 50899-96 предусматривает концы передающих и отводящих волокон ВОК оконцовки исполнять стандартными розеточными частями разъемных оптических соединений.

VII. ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ И СХЕМЫ ИХ ФИНАНСИРОВАНИЯ

В.М. Чебаненко

7.1. Понятие «инновация»

Зададим себе вопрос: что подразумевается под словом «инновация»?

В технической литературе понятие «инновация» имеет достаточно много интерпретаций. Но в конечном счете, как результат инновационной деятельности, сводится к разработке и внедрению различного рода новшеств, порождающих значимые изменения в социально-экономической сфере, которые существенным образом сказываются на мировом рынке.

Для нас важен и другой вопрос: как связана экономика с феноменом технического прогресса?

Но вначале назовем четырех выдающихся экономистов, которые «перевернули мир» в капиталистической сфере производства:

1. Английский экономист Джон Мейнард Кейнс, «отец макроэкономики», по которой мы с вами живем в постсоветской истории.

2. Немецкий экономист Йозеф Алоис Шумпетер с его трудом «Теория экономического развития», изданном в 1911 г.

3. Немецкий банкир Ялмар Горас Грили Шахт – финансовый гений XX века. Ни один финансист, ни до него, ни после не оказал такого влияния на ход мировой истории.

Ялмар Шахт дважды спас Германию от полной финансовой катастрофы.

4. Немецкий экономист Херман Шеер, лауреат альтернативной Нобелевской премии за 1999 г., который доказал, что «ископаемая мировая экономика» – устаревшая модель, которой преобладает система международного капитализма,

названная американцем Фрэнсисом Фукуяма «концом истории».

Начнем с первого.

Джон Мейнард Кейнс выпустил в 1936 г. в свет книгу «Общая теория занятости, учетной ставки и денег», в которой постарался разгадать, а потом предложить меры, как устранить экономические кризисы, вопреки Марксу, утверждавшему их объективное (экономические циклы) появление и вызывающие неполадки и тряску в сверкающем на рекламных зданиях капитализма.

По Кейнсу, экономика разбита на два сектора – финансовый и реальный, каждый из которых имеет свой товар, спрос и предложение, цену и количество. Финансовый сектор – это рынок денег, где их цена зависит от учетной ставки или процента, который заемщики финансовых средств платят кредиторам-«ростовщикам». Известно, что банк оперирует в основном деньгами своих вкладчиков, которые в свою очередь представляют собой их сбережения. Вот сбережения и являются источниками для инвестиций.

Если обратите внимание, когда пользуетесь московским метро, то в нем пестрят рекламы банков, предлагающие кредиты на разных условиях, в первую очередь по процентной ставке. Понятно, что чем больше заемщики согласны платить за кредит, тем больше по размеру и количеству кредита могут предложить кредиторы-банки. Но только до определенного предела, связанного с экономической эффективностью дела, для которого берется кредит. Кейнс доказал, что далеко не этим обстоятельством определяется предложение кредитов.

Главным образом кредиты связаны с национальным доходом и жизненным уровнем населения. Чем они выше, тем больше сбережений, которые хранятся в банках и представляют собой потенциальные и реальные инвестиции – источник финансирования промышленного сектора экономики.

Реальный сектор – это, по сути, товарные рынки, где правит бал индекс цен (его изменение во времени называется инфляцией) и на совокупный товар существует совокупный спрос и совокупное предложение, которые регулируются фискальной политикой правительства государства.

Действительно, спрос и активность реальной экономики растут, если снижаются налоги и государство увеличивает свои расходы для участия в деле. Управление и контроль государством через свои финансово-кредитные органы запасом денег, вовлеченным в оборот реальной экономикой (монетарная политика), – это значит управлять инфляцией, бьющей по каждому заработанному рублю.

Рассмотрим классическую формулу:

$$MV = PQ,$$

где M – денежная масса, V – скорость обращения денег в обществе, P – уровень цен, Q – выпуск товаров и услуг. Кейнс обратил внимание, что при высокой инфляции растет денежная масса M и ускоряется процесс оборачиваемость денежных масс V . Далее следует, что при малом росте параметра Q стремительно растет P , т.е. наступает гиперинфляция.

Фундаментальный вывод Кейнса – необходимо государственное влияние на процесс через фискальную и монетарную политику, которое либо сдерживает «избыточный» экономический рост в периоды бума и предотвращает глубокие спады в экономике в период рецессии, либо приходят крупные неприятности в виде роста социальной напряженности и недоверия правительству.

По Кейнсу, рыночная экономика в своей основе имеет ряд фундаментальных дефектов. Особенно невозможно достичь баланс или точнее – устойчивого равновесия в динамике привлечения финансовых средств в реальную экономику (всегда с опозданием) и вовремя перестроить производство (остановиться не могут и рынок переполняется товаром). Кейнс дал рекомендации: государство должно не допускать

«лишних» доходов, которые вызывают перепроизводство, путем поднятия налогов (или поднятия учетной ставки) в период производственного бума в экономике. Другими словами – планированием экономики и бюджета, который, по Кейнсу, оптимален при 18% валового национального продукта, в том числе как средней ставке налогообложения.

Теперь наступает черед финансиста Ялмара Шахта, который в конце жизни говорил: «Сначала меня посадили за то, что я был против Гитлера, а потом за то, что я помогал ему».

После поражения Германии в Первой мировой войне и в связи с кабальными условиями Версальского договора по выплате репараций и контрибуций ситуация с экономическим и социальным положением в государстве стала катастрофической.

С лета по осень 1923 г. уровень цен вырос в 850 тысяч раз, курс доллара почти в 400 тысяч. История бумажных денег не знала таких масштабов обесценивания. Финансисты были растеряны и не знали как обуздать все это.

Точно в соответствии с формулой Кейнса: товара было мало, цена на него росла, деньги обесценивались. В это сложное время Шахт, получив портфель государственного комиссара по валютным делам, а вскоре и должность президента Рейхсбанка, затеял финансовую реформу. Суть ее сводилась к следующему: в стране была введена новая валюта (марка), формально обеспеченная ипотекой на земельную собственность и недвижимость. Таким образом был уничтожен черный рынок, разгонявший и без того страшную гиперинфляцию. Простым выделением 4 процентов государственных земель, в том числе занятых железными дорогами, под обеспечение новой денежной единицы, рентной марки, Шахт вселил чувство уверенности обществу и задал экономике невероятный импульс к развитию: поддержал фирмы, способные к инновациям и создающие конкурентную продукцию для экспорта.

Именно с его реформами и жесткой линией производства продукции фирм на экспорт начался создаваться современный бренд «Made in Germany».

Как следствие усилий, когда весь хозяйственный и экономический механизм подчинен этой единственной цели – быть первыми на мировых рынках.

Стабилизация экономики привлекла в страну иностранных кредитов и инвестиции. В первую очередь из США и Великобритании. Мало кто знает, что Германия полностью выплатила контрибуции и рассчиталась с долгами по Версальскому договору в октябре 2010 г.

Наступил черед немецкого экономиста Йозефа Шумпетера.

Идеи Й.А. Шумпетера повлияли на организационно-функциональные схемы управления и нашли широкое применение, в частности, в процессе управления компаниями и перераспределения прав и ответственности в иерархии управления. Например, стало понятно жесткое разделение в управлении немецких фирм на две функции: менеджмент по управлению проектом и фирмой (правление фирмы) и менеджмент по технической линии (корпус технических директоров). Конечно, такой подход вовсе не панацея от бед, которые могут свалиться на голову руководства фирмы.

Наиболее передовой с точки зрения обеспечения максимальной эффективности управления представляется так называемая программно-целевая форма (матричная) схемы управления, которая сочетает в себе функциональное и проектно-программное управление.

Для нас важна другая проблема: как связана экономика с феноменом технического прогресса? Ответ на поставленный вопрос следует искать у немецкого экономиста Йозефа Алоиса Шумпетера и в его труде «Теория экономического развития», изданном в 1911 г. и переизданном на английском языке в 1934 г. Шумпетер расширил понятие роста экономики, разделив его на две составляющих: экономический рост и

экономическое развитие. Экономический рост – это обычное увеличение массы одних и тех же товаров и услуг. Экономическое развитие подразумевает нечто существенно большее: рост экономики на основе инноваций, т.е. чего-то нового, ранее неизвестного, т.е. того, что в настоящее время называют высокими технологиями, созданными на основе последних достижений науки и техники в различных областях человеческой деятельности.

В государстве, где происходит экономический рост, товары и денежная масса движутся навстречу друг другу давно установившимся способом. По Шумпетеру – это циркулярный поток экономической жизни. Экономическое развитие нарушает привычный ход циркулярного потока, вызывает к жизни новые технологии и ноу-хау, создает новые отрасли промышленности и прекращает существование устаревших, не нужных для дела.

Инновации появляются дискретно и нарушают привычное течение, создавая экономическому развитию прерывистый характер движения. Взамен дает новое качество. Нильс Бор: «Ваша идея, конечно, безумна. Весь вопрос в том, достаточно ли она безумна, чтобы оказаться верной». Отсюда изменяется понятие «предприниматель».

Теперь, это новатор в создании новых, ранее не известных комбинаций факторов производства.

Чтобы понять влияние инноваций на мировую экономику, приведем один конкретный пример.

В изданной книге «German stars: 50 innovations everyone should know», в разделе «Rocket application for safety» рассматривается влияние на мировую экономику патента, полученного «Mercedes-Benz» в 1971 г. Проведенные концерном «Mercedes-Benz» исследования показали, что при фронтальных столкновениях наличие подушек безопасности увеличивает вероятность выживания водителя на 20–25%.

Устройство подушки безопасности автомобиля (airbag) – это система, состоящая из газогенератора с подушкой, яв-

ляющихся одним узлом, датчиков удара, а в современных моделях – еще и электронного блока управления. Материал, из которого изготовлены подушки безопасности автомобиля, – это нейлон толщиной 0,45 – 0,55 мм, который покрывают слоем силикона или резины для достижения герметичности. Для выделения большого количества газа, заполняющего подушку безопасности, используют твердое топливо, при сгорании которого выделяется газ, который в свою очередь надувает подушку.

Так миниатюрный пороховой реактивный двигатель, точнее газогенератор, проник в автомобилестроение.

В ЕС производится 16 млн автомобилей ежегодно, в том числе Германия – 5 398 508 шт., а в мире – 40 млн шт. и в каждом присутствует airbag.

Перемножьте две цифры: цену одного airbag на количество выпускаемых в мире автомашин с этим устройством и все станет ясно с влиянием инноваций на экономику.

Государство обязано побеспокоиться, разработать и провести в жизнь программы по поддержке инновационного климата в стране, а также произвести соответствующие действия и затраты, чтобы создать условия для появления инноваций.

Инновации напрямую связаны с инвестициями. Для примера возьмем промышленно высокоразвитую страну Германию. Обычно выделяют 10 причин, способствующих привлечению инвестиций в Германию.

1. Крупный рынок: Германия самая населенная страна Европейского союза (82 млн человек) и крупнейший рынок Европы. ВВП стоимостью более 2,2 трлн евро, т.е. сильнейшая экономика в Европе и третья в мире.

2. Центральное положение: Германия благодаря своему географическому положению в Европе является узловым пунктом для потока товаров и услуг. После 1995 г. это одна из семи важнейших промышленных стран, смогла увеличить свою долю в мировой торговле.

3. *Открытый рынок*: Германия – это открытый рынок, весьма доброжелательный в отношении иностранных инвесторов. Доказательством являются около 22 тысяч иностранных предприятий на территории Германии, дающие работу 2,7 млн. человек. Практически все сферы германского рынка открыты для предпринимательской деятельности. Здесь нет отраслей, где господствует государство. В силу высокой привлекательности германских предприятий и благоприятных инвестиционных условий страна все больше оказывается в фокусе иностранных Private Equity-компаний и хедж-фондов.

4. *Интернациональный характер*: В Германии проживают более 7 млн иностранцев. В некоторых крупных городах имеются большие иностранные общины со своими школами, церквями, магазинами и ресторанами. В Дюссельдорфе – японцы, во Франкфурте-на-Майне – корейцы, в Гамбурге – китайцы, в Берлине – русские. Почти 70% германских служащих и рабочих говорят по-английски.

5. *Квалифицированная рабочая сила*: Германия предлагает высококвалифицированных, мотивированных и ответственных специалистов. Высокий уровень знаний и способностей германской рабочей силы признан во всем мире. Ведущие специалисты, необходимые промышленности и всем другим отраслям, выпускаются 383 вузами страны практически с бесплатным обучением. Основой германской системы профессионального обучения является «дуальная система», сочетающая в себе школьное образование с производственным и обеспечивающая высокое качество профподготовки, четко ориентированная на потребности предприятий.

6. *Высокий инновационный потенциал*: В Германии на 1 млн жителей приходится 227 важных для мирового рынка патентов. Деловое и взаимовыгодное сотрудничество между предприятиями и крупными научно-исследовательскими институтами (например, с институтом им.Макса Планка или фраунгоферовскими институтами), новые идеи быстро пре-

вращаются в продукты, удовлетворяющие требованиям мирового рынка и быстро завоевывающие его.

7. Высокоразвитая инфраструктура: Германия обладает плотной сетью автобанов, железных дорог и международных аэропортов. Франкфуртский аэропорт – международный узловой пункт. Гамбургский порт – одна из крупнейших контейнерных перевалочных баз в Европе. Коммуникационная структура прекрасно развита по всей стране.

8. Высокая правовая защищенность: Германия – современное правовое государство с прозрачными, всем понятными законами и правилами. Эти преимущества признаются во всем мире. Германская правовая система служила образцом при разработке многих правовых актов в других странах. Международные исследования показывают: инвесторы высоко ценят уровень правовой защищенности в Германии. По этому показателю страна занимает 4-е место в мире.

9. Сильный малый и средний бизнес: В германской экономике доминируют малые и средние предприятия – 85% от общего количества. Благодаря этому германская экономика очень гибка, многообразна и конкурентоспособна. Многие малые и средние предприятия – мировые лидеры в своей отрасли.

10. Всемирно известный фирменный знак: Знак продукция с клеймом «Made in Germany» служит символом высочайшего качества во всем мире. Многие годы Германия занимает 1-е место по экспорту товара. Наиболее сильны в этом такие отрасли, как автомобилестроение и машиностроение, электроника и химия. Быстро растет значение таких отраслей будущего, как экологически чистое производство энергии и нанотехнологий, где каждые два года число заявок на патенты удваивается. Иностранные инвесторы смогут получить выгоду, поставив на произведенные в Германии товары клеймо «Made in Germany». Что же нужно сделать, чтобы инновации вошли в жизнь и из лозунгов превратились в реалии нашей повседневности? Известна крылатая фраза, кото-

рую приписывают Арцимовичу Л. А., что «наука лучший современный способ удовлетворения отдельных лиц собственного любопытства за счет государства». Европейский союз принял решение о выделении на научные исследования и инновации не менее 3% от общего дохода Союза.

Анализ полученных технических и технико-экономических данных по разработке ракетно-космических комплексов на основе распределения затрат и времени на стадии и этапы работ позволяет сделать важные для понимания инновационных процессов выводы:

1. Необходимо своевременно создавать научно-технический и проектно-конструкторский задел, без которого невозможно обеспечить конкурентоспособность новой продукции, выделяя на это не менее 1–2% финансовых средств от общего валового дохода страны.

2. Решение задачи по п. 1 невозможно без научных и высококвалифицированных кадров и современной лабораторно-исследовательской базы, на которую требуется не менее 3% средств от общего валового дохода государства.

3. Требуется создание специализированных фондов с государственной поддержкой, которые способны инвестировать работу по реализации весь перечень основных патентов в конечные рыночные, имеющих перспективы существенно повлиять на изменение конъюнктурной ситуации в их сегменте рынка в свою пользу.

4. Принятие принципиального решения и выделение инвестиций следует делать при оптимальном соотношении между техническим риском и распределением затрат на проект.

Теперь снова наступает пора Йозефа Алоиса Шумпетера, который процесс инноваций связал с **предпринимательской способностью** в производстве, а людей, в головах которых появляются новые, ранее не существовавшие идеи, назвал **предпринимателями**, т.е. рождающих новые подходы и решения. Конечно, речь идет об идеях, которые влияют

на производство товаров и услуг, которые в дальнейшем завоевывают рынки, двигая вперед прогресс. В макроэкономическую теорию Кейнса хорошо вписываются производственные процессы, свойственные циркуляционному потоку, в котором изменения могут носить только количественный характер. Шумпетер же показал, что если предпринимательская способность относится к факторам производства, которое от этого фактора зависит, то ее фиксированное количество должно вызывать убывающую отдачу при наращивании прочих факторов производства. Действительно, миром движут идеи.

Принципиальным в стратегической политике решения проблемы с инновациями является ее разделение на две составляющих:

1. Инновации в технике, производстве и продукции, что является делом исследователей, проектантов, конструкторов и технологов (изобретатели в обычном понимании этого слова).

2. Инновации в управлении производственным процессом, предприятием, отраслью, государством, что влияет на инновационный процесс через повышение эффективности управления и совершенствование организационно-управленческих схем, т.е. того, что сделала организация «Агат» в Минобщесмаш, создав автоматизированную систему тематического планирования и управления НИОКР отрасли в далекие 1970-е гг. Эти оба направления в инновационной политике органически связаны между собой и дополняют друг друга, повышая общие показатели эффективности **креативной экономики** предприятия, отрасли, государства.

Если первое – удел предпринимателей, то второе, главным образом, государства, которое должно выработать и провести в жизнь условия, обеспечивающие экономическую и общественную заинтересованность в инновациях на уровне государства.

Зададим себе вопрос: где в государстве наиболее ярко проявляется наличие инноваций? Первое – в экспорте. Чем больше объем экспортных поставок, тем больше там нового и привлекательного для рынка. Даже сырье (нефть, газ, пиломатериалы и другое).

Правда, к этому мы не имеем никакого отношения. За нас потрудились матушка-природа, ей надо воздать должное через сохранение окружающей среды, биологического многообразия и защиту природных ресурсов от варварского уничтожения.

Живущие сейчас и пользующиеся природными богатствами Земли должны помнить и нести гражданскую ответственность перед будущими поколениями.

Вернемся к формуле Кейнса, действующей в следующих начальных и граничных условиях:

1. Принимаем за истину основное положение теории Кейнса о связи массы денег и стоимости товара, произведенных за один оборот средств.

2. ВПП – стоимость всех произведенных на территории страны товаров и услуг в течение года, показывающий, насколько экономика страны ориентирована на потребность населения.

3. Национальный продукт есть выражение стоимости произведенных товаров и услуг данной страны за определенный промежуток времени, т.е. доход от всех предприятий, зарегистрированных и находящихся на ее территории.

4. Инвестиционная составляющая в национальном валовом продукте пропорциональна удельной доли патентов, полученной страной, от их общего количества в мире.

5. За временной отрезок принят год.

6. Экономика государства принимается устойчивой, инвариантной к внешнему и внутреннему воздействию дестабилизирующих ее факторов (гомогенной) в течение года.

7. Товары и услуги, производимые и выполняемые в течение года, одинаковы по существу и стоимости.

8. Оборачиваемость денежной массы за один цикл приравнивается календарному месяцу, т.е. 12 циклов.

9. Масса товаров и денег совершает свои циклические обороты в виде равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку приложенные силы денежной массы не заставляют изменять это состояние.

Итак, мы имеем уравнение $MV = PQ$.

Данная зависимость ничто иное как импульс силы денежной массы, совершающей оборот в процессе в системе «производство–рынок». Это векторная величина, означающая меру действия силы денежной массы за некоторый промежуток времени.

Тогда сила денежной массы

$F = PQ / T$, где F – сила денежной массы, а T – время действия силы денежной массы. В массе товаров Q их часть инновационных, т.е. $Q = Q_{и} + Q_{об}$, где $Q_{и}$ – количество инновационного товара, $Q_{об}$ – количество обычного товара. Тогда сила денежной массы $F = P_{и} Q_{и} / T + P_{об} Q_{об} / T$, где $P_{и}$ – цена товара, $Q_{и}$ – количество товара.

Первое слагаемое – это инновационная составляющая, которая тем больше, чем более промышленно развито государство. Второе слагаемое приближается к ВПП, если весь инновационный потенциал по производству товаров и услуг полностью заключен в товарах и услугах, поставляемых на экспорт. Бесспорно, такой подход очень схематичен и условен. Однако он позволяет ориентироваться в густом тумане и наконец увидеть «свет в конце тоннеля».

Если оценить «инновации» государства по количеству зарегистрированных за ним патентов, то картина получается следующая (табл. 7.1).

Необходимо также учесть удельный вес объема продукции, производимой страной в общем объеме по всему миру.

Таблица 7.1

Сравнительная характеристика некоторых промышленно-развитых стран по наличию патентов, %

№ п.п.	Страна	Уд. численность населения	Уд. количество патентов («креативность»)	Доля импорта в мировом обороте	Отн. показатель инноваций страны	Общий показатель инноваций
1	США	4,47	24,4	15	5,46	81,9
2	Германия	1,20	23,5	8	19,58	158,4
3	Япония	1,87	17,9		9,57	–
4	Франция	0,98	7,0	17	7,60	–
5	Великобритания	0,89	3,0	–	3,37	–
6	Швейцария	0,11	3,6	–	32,70	–
7	Италия	0,88	3,5	–	3,97	–
8	Нидерланды	0,24	2,8	–	11,70	–

Если учесть, что на долю США приходится 15% в мировом рынке, то влияние США с показателем инновации 5,46 весьма существеннее на мировое общество, чем Швейцарии с ее 32,70.

Однако следует помнить, что позиции США, как ведущего игрока на мировой арене международной торговли, ослабли. Если в 1948 г. импорт составлял 13,5%, а экспорт – 22% от совокупного мирового торгового оборота, то в 2005 г.: импорт – 15%, а экспорт – 9%. Доля импорта в мировом обороте за 2006 г.:

ЕС с учетом внутренней торговли – 41%,
 ЕС без учета внутренней торговли – 19%,
 США – 15%,
 Германия – 8%,
 Китай – 6,5%.
 Япония – 6%.

Анализ табл. 7.1 показывает, что по инновациям и инновационной политике страны лидирует Германия почти в два раза – 1,93.

Отметить одну специфическую особенность. Если все страны, как правило, сколько экспортируют, столько и импортируют, то два государства представляют исключение – США и Германия.

США ввозит в 2 раза больше, чем экспортирует, и имеет огромный внутренний рынок потребления, а Германия экспортирует в 1,3–1,5 раза (в разные годы) больше, чем импортирует, и вся государственная машина направлена на содействие экспорту продукции и услуг немецких фирм и концернов.

В Германии, лауреат альтернативной Нобелевской премии за 1999 г. экономист Херман Шеер пошел еще дальше. Он доказал, что «ископаемая мировая экономика» – устаревшая модель, в которой преобладает система международного капитализма, названная американцем Фрэнсисом Фукуяма «концом истории».

Экономист Шеер выступает за альтернативную экологически чистую энергетику, доказывая, что использование солнечных ресурсов не требует глобальных трансконтинентальных производственно-транспортных связей и означает одновременное существование региональных рынков ресурсов и глобального рынка инновационных технологий, которые используются децентрализованно.

Мировая экономика солнечной энергии сделает технически невозможной (в силу отсутствия необходимости) централизацию ресурсов и капитала, разрывая их связь.

Благодаря неисчерпаемости солнечных ресурсов появится реальная возможность существования устойчивой модели цивилизации и увеличения индивидуальной, общественной и экономической свободы, но не за счет свободы обворовывания других, не допущенных к минерально-сырьевым ресурсам страны.

Приняв во внимание, что «свободная конкуренция на мировых рынках» далеко не свободна и «товарищ Волк знает, кого съест» (Путин В.В.), а также последствия разрушительных 90-х гг. в результате исчезновения СССР на мировой арене, постоянно задумываешься над тем, зачем нам этот капитализм, если для него банковский «чистоган из воздуха» предпочтительнее научно-технического прогресса?

7.2. Источники и схемы финансирования инновационных проектов

Как использовать изложенное выше в практической жизни?

Рыночная экономика, в которой мы теперь живем и работаем, при которой государство устранилось от поддержки НИОКР и отраслевой науки (за исключением нефти, газа, ТЭК и некоторых других продуктов) ввиду экономически-финансовой маломощности наших предприятий, в отличие от США и Германии, выявила одно принципиальное противоречие между интересами банков и промышленных предприятий.

Суть его в отсутствии желания банков вкладывать средства в новое, инновационное, в научно-технический прогресс, в проекты с длительным сроком окупаемости и возврата вложенных средств.

Для банка важно одно – как можно скорее делать деньги.

Модель такого подхода в какой-то степени напоминает взаимоотношения двух титанов – гениального Никола Тесла и банкира и железнодорожного магната, инвестировавшего творческие разработки Н. Тесла, – Джона Пирпонта Моргана с его принципом: «Человек, которому я не доверяю, не мог бы получить у меня ни пенса за все кости христианского мира». Не случайно они разошлись: Тесла, как титан Прометей

давший людям огонь и научивший земледелию, хотел открыть новые горизонты и возможности для человечества. Морган – сделать как можно больше денег.

На российские банки рассчитывать при инновационных проектах с длительным сроком возврата средств тем более иллюзорно.

О том, что в последовательности производственно-технологических переделов разработки и изготовления отечественных микросхем и электронных изделий различного назначения образовалась технологическая «дыра» и в России не производится ни одного килограмма высокоочищенного поликристаллического кремния электронного качества, монокристаллического кремния и полупроводниковых пластин для широкого спектра применения (военного, специального, двойного и гражданского назначения) вам всем по роду вашей деятельности и профессиональной осведомленности хорошо известно.

Поэтому мы сразу же остановимся на том, почему данный проект имеет все условия на успех по сравнению с другими, аналогичными по замыслу, проектами, потерпевшими фиаско, в том числе Группы КОНТИ в Железногорске и Группы НИТОЛ в Усолье-Сибирское.

Группа российских и немецких предприятий, объединенных в Российско-немецкий консорциум инновационных проектов для обеспечения электроники информационных систем, интересы которых мы представляем, поставила перед собой задачу разработать и построить в 2013–2017 гг. в России инновационный индустриальный кластер предприятий по производству всех технологических переделов от получения высокоочищенного поликристаллического кремния микрокристаллического качества до производства полупроводниковых пластин, необходимых для изготовления всего спектра микросхем, силовой электроники и других электронных изделий.

Речь идет о вертикально интегрированном и технологически производственно взаимосвязанном суперсовременном кластере в составе:

1.1. Научно-производственный центр по производству поликристаллического кремния микроэлектронного качества мощностью 1000 тонн/год (с возможностью наращивания объемов производства до 2,5–3,0 тыс. тонн/год).

1.2. Научно-производственный центр по производству монокристаллического кремния и на его основе – полупроводниковых пластин для электроники, используя полностью для этого весь произведенный поликремний первого предприятия, ежегодно выпуская 7100 тыс. шт. пластин для электроники и 5500 тыс. шт. пластин для фотолитографии.

Общая стоимость проекта кластера оценивается в районе 350 млн евро, в том числе первое предприятие – 125 млн евро, второе – 225 млн евро.

В основу производства поликристаллического кремния положен «Сименс-процесс», по которому в мире производится 83% объема этого продукта, модернизированный и реализованный на высокопроизводительном технологическом оборудовании, разработанном ОАО «Гиредмет» и немецким научно-технологическим и производственным центром SiTec GmbH.

На рынке востребованы продукты, обладающие наибольшим значением основного критерия «эффективность – стоимость».

Под эффективностью понимается качество производимого поликристаллического кремния, характеризующегося его применимостью во всем диапазоне разработки и производства приборов микроэлектроники (от EPLD и VLSI до традиционных интегральных схем и силовой электроники), а под «ценой» – стоимость этого продукта на мировом и внутреннем рынках, которая определяется производственными затратами, а точнее себестоимостью.

Особенность проекта создания предприятия по производству поликремния МEG и организации его строительства понятна и видна на фотографиях поликремниевого завода компании Wacker Polysilicon в Бургхаузене, можно сказать, «Поликремниевой долины Германии».



Даже взгляда на фотографию достаточно, чтобы понять, что хотя этот тип производства относится к химико-металлургическому, но его особенность сразу же улавливается. Здесь нет присущих металлургическому производству доменных печей, огромных зданий цехов и прочих масштабных сооружений.

Специфика заводов по производству поликристаллического кремния состоит в том, что технологическое оборудование составляет от 50 до 80% общей стоимости проекта.

Воспользуемся данными расчетов стоимости СМР по расценкам в России в инвестиционных затратах на строительство завода по производству поликристаллического

кремния микроэлектронного качества мощностью 1000 тонн/год в г. Стерлитамак, выполненных ОАО «Гиредмет» с использованием материалов из Научно-технического отчета «Технологическая часть предварительного ТЭО SiTec GmbH».



Если учесть, что в стоимость технологического оборудования также входят связанные с его поставкой услуги, а это:

- проектно-изыскательские исследования на земельном участке;
- проектирование и рабочая документация;
- технологические ноу-хау;
- сертификация;
- СМР;
- эксплуатационная документация и инструкции по обслуживанию;
- обучение персонала и прочее.

При общей стоимости проекта технологическое и вспомогательное оборудование составляет более 80% от общей стоимости. В этом причина, что для проекта предложено использование для финансовой схемы и источников финансирования Федеральной программы Германии по поддержке экспорта и услуг немецких фирм на основе кредита немецкого Дойчебанка, покрытого государственным страховым обществом « Euler-Hermes AG» для поставки технологического и иного оборудования, а также связанных с этим услуг немецким генеральным подрядчиком – крупной компанией EPC Group, рекомендованной фирмой SiTec GmbH, по контракту с российским заявителем кредита.

Федеральная программа ФРГ по содействию немецкому экспорту работает с 1984 г. и к настоящему времени претерпела ряд корректировок, направленных на повышение большей гибкости применения и устранения необходимости предоставления суверенных (государственных) гарантий. Гарантирование возврата кредитов по экспортным кредитам для немецких фирм осуществляется под залог необходимой части резервируемых для программы бюджетных средств в специальном фонде государственного гарантирования экспортных поставок (в объеме 85% от суммы финансирования).

Органом, регулирующим использование средств Фонда, является Межведомственная комиссия при Правительстве Германии, состоящая из представителей федеральных министерств и осуществляющая ведение дел через консорциум, в который также входит с/о «Эйлер-Гермес АГ», АО Немецкий аудит. Немецкая фирма подает заявку на получение государственной экспортной гарантии для обеспечения льготного финансирования ее сотрудничества с российским предприятием, т. е. получения немецкой фирмой страхового покрытия экспортного кредита немецкого первоклассного коммерческого банка для оплаты производства оборудования производителем и /или обеспечения услуг и поставки их по

экспорту для российского предприятия, участника проекта (табл. 7.2).

Годовая процентная ставка за использование кредита обычно не превышает предела 6,5–7%.

Таблица 7.2

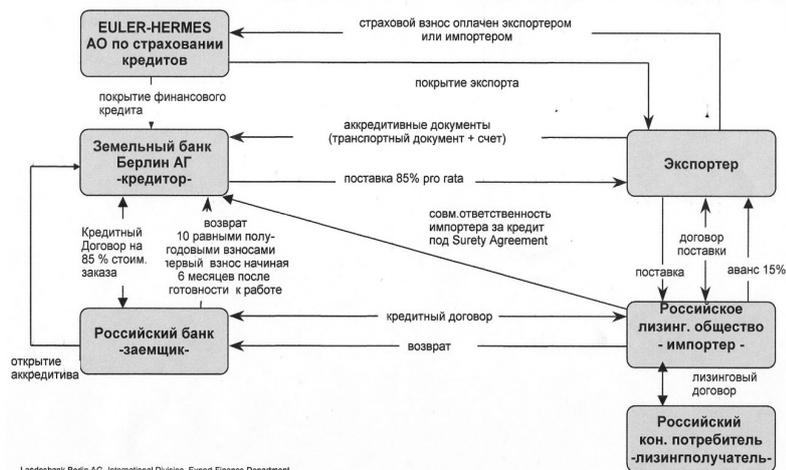
Сравнительная стоимость кредитных ресурсов коммерческих российских и немецких банков, %

№ п.п.	Показатели	Российский банк	Немецкий банк
1	Рыночная стоимость кредита (меняется от ситуации на рынке)	12-18	4,0
2	Маржа банка (разница между стоимостью привлеченных средств и выданных заемщику)	5-7	0,5
3	Страховка и страховая премия «Euler-Hermes AG»	–	2,5
4	Гарантия российского банка	5-7	–
5	Предоплата российской стороной за поставку оборудования и услуг на р/счет немецкого поставщика	–	15% стоимости контракта
6	Кредит на 6-7 лет в размере 85% от общей стоимости контракта для российского заявителя для поставки оборудования	–	85% стоимости контракта
7	Начало платежей за кредит с момента подписания акта приемки/передачи	–	+
8	Возврат каждые полгода (% за кредит и основное тело)	–	+

Европейская межбанковская ставка предложения (средневзвешенная процентная ставка по межбанковским кредитам, предоставляемым в евро), еврибор, появилась вместе с евро и необходимостью установить межбанковские отношения в Евросоюзе, величина, в которой измеряется процент, под который банки дают кредиты в еврозоне.

Общая схема льготного кредитования по линии с/о «Эйлер-Гермес АГ» приведена ниже на примере ассоциации Земельного банка Берлина.

Покрытый HERMES кредит заказчика для поставок основных средств в Российскую Федерацию



Landesbank Berlin AG, International Division, Export Finance Department

Данная схема финансирования явилась следствием того, что Германия – один из важнейших экспортеров и импортеров, занимает второе место в мире. Экспорт занимает 23,6% ВВП страны. Соотношение экспорта и импорта в течение многих лет составляет 1,3–2,0 и представляет собой постоянную тенденцию, на что нацеливаются все фирмы и концерны, государственный аппарат и экономические законы этой страны. В структуре торговли Россия для современной Германии является одним из крупнейших поставщиков нефти, нефтепродуктов, природного газа, а Германия для России – главным поставщиком машин и другого промышленного оборудования, железнодорожных вагонов, стального листа, химикатов и продовольственных товаров.

В 2011 г. Германия экспортировала в США продукции более чем на 110 млрд евро с приростом в 11% по сравнению с прошлым годом. Объем поставок в Европу составил 752 млрд евро, из которых на страны еврозоны приходится

627 млрд. Одним из важных рынков сбыта для Германии остается Россия, закупившая в 2011 г. немецких товаров на 34,5 млрд евро.

Год	2010	Экс-порт/импорт (%)	2011	Экс-порт/импорт (%)
Экспорт	1 258 924 млн дол.	1,19	1 473 889 млн дол.	1,175
Импорт	1 054 814 млн дол.	–	1 253 951 млн дол.	–

В противовес негативным общеевропейским тенденциям динамика двусторонних экономических связей между Москвой и Берлином стабильно улучшается. По данным Восточного комитета немецкой экономики, Германия является вторым по значимости торговым партнером России после Китая.

В 2011 г. торговый оборот достиг рекордной отметки в 75 млрд евро. За этот период объем немецкого экспорта в Российскую Федерацию вырос на 31%, хотя структура обмена не претерпела существенных изменений: большую часть российского экспорта составляет сырье, а немецкого – промышленная продукция. На сегодняшний день в России действует 6300 немецких фирм и дочерних предприятий, на 200 больше по сравнению с прошлым годом. В среднем каждые два дня на российский рынок выходит новая немецкая компания. Параллельно растет привлекательность для инвесторов: за прошедший год Россия получила 8,2 млрд евро в прямых инвестициях, а общая сумма немецких активов в российской экономике достигла 21,4 млрд евро.

С созданием Европейского союза схема финансирования поддержки экспорта товаров и связанных с этим услуг распространилась, с теми или иными особенностями, на фирмы государств, входящих в ЕС, в частности на Венгрию.

В Венгрии вопросами кредитования и страхования экспорта, а также венгерских инвестиций за рубежом в тесном взаимодействии занимаются два находящиеся в государственной собственности акционерных общества: «Венгерский экспортно-импортный банк» (Эксимбанк) и «Венгерский страховщик экспортных кредитов» (Мехиб).

Законодательной базой для их функционирования являются Закон XLII от 1994 г. «Об акционерном обществе “Венгерский экспортно-импортный банк” и акционерном обществе “Венгерский страховщик экспортных кредитов”», а также следующие Постановления Правительства ВР: № 85 от 6 мая 1998 г. «О системе выравнивания (компенсации) процентов АО “Венгерский экспортно-импортный банк”», №16 от 20 мая 1998 г. «О подробных правилах расчета с госбюджетом АО “Венгерский экспортно-импортный банк” и АО “Венгерский страховщик экспортных кредитов”», № 312 от 28 декабря 2001 г. «Об объекте страхования, который может взять на себя АО “Венгерский страховщик экспортных кредитов”, а также об условиях и страховых случаях страхования им нерыночных рисков за счет государственного бюджета при общем поручительстве Правительства» и № 232 от 16 декабря 2003 г. «О подробных правилах и условиях предоставления Эксимбанком кредитов по линии помощи». В преамбуле Закона сформулированы цели и задачи, которые возлагаются на Эксимбанк и Мехиб:

- стимулирование и содействие развитию внешнеэкономических связей, особенно экспорта венгерских товаров и услуг;
- претворение в жизнь государственных интересов, связанных с экспортом;
- усиление конкурентоспособности венгерских экспортеров на внешних рынках;
- разделение финансовых рисков при экспорте, которые не могут быть застрахованы традиционными рыночными способами;

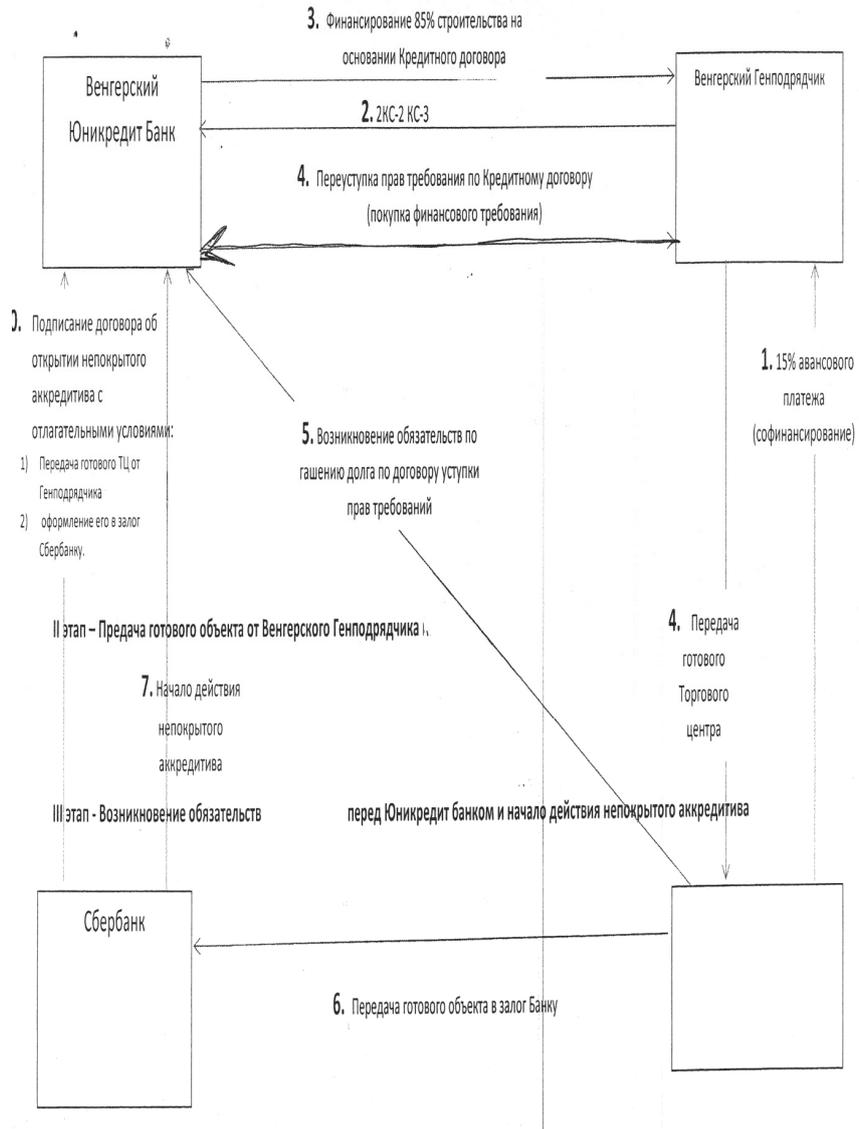
– дальнейшее развитие финансовой институциональной системы, в том числе системы финансирования экспорта и страхования экспортных кредитов посредством средств рыночного хозяйства, а также в соответствии с международными нормами.

В функции Эксимбанка входит прежде всего предоставление венгерским экспортерам кредитов и банковских гарантий, а также проверка кредитоспособности контрагентов по поручению клиента.

Эксимбанк находится в 100%-ной государственной собственности. Осуществление прав собственности от имени венгерского государства возложено на министра финансов ВР. В соответствии с Законом XLII от 1994 г. Правительство ВР в качестве общего поручителя за счет средств госбюджета отвечает за выполнение Эксимбанком своих платежных обязательств по займам, взятым Эксимбанком для осуществления своей кредитной деятельности.

Протокол шестого заседания Российско-Венгерской межправительственной комиссии по экономическому сотрудничеству (от 17–18 марта 2011 г.), по которому российская и венгерские стороны заявили, что намерены способствовать осуществлению взаимных инвестиций, придерживаясь договоренностей, достигнутых в рамках Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Венгерской Республики о поощрении и взаимной защите капиталовложений, вступившего в силу 29 мая 1996 г., а также стремлению венгерских компаний к участию в реализации ранее и вновь объявленных российских приоритетных национальных проектов и широком распространении кредитных и страховых конструкций, предоставляемых венгерской частью Российско-Венгерской межправительственной комиссии через ЗАО «Эксимбанк» (Венгрия) и ЗАО «Мехиб» (Венгрия) под конкретные совместные проекты.

I этап – Строительство Торгового центра для передачи



Наиболее организационно и экономически приемлемая схема – это финансирование проектов через непокрытый аккредитив.

Кратко суть схемы финансирования следующая: заказчик и генподрядчик согласуют основные условия и текст генподрядного контракта, в котором условием оплаты определен аккредитив в пользу генподрядчика в венгерском банке. Аккредитив открывается на всю сумму контракта, а обязанность оплаты последовательно, ежемесячно с swift-подтверждением сумм отдельных этапов выполненных работ.

Российский заказчик договаривается со своим банком о возможности открытия аккредитива по генподрядному контракту на оплату работ генподрядчика и согласовывает форму обеспечения (залога) аккредитива (например, 10% от стоимости всего контракта).

Обязанность оплаты определяется только за работы, выполненные генподрядчиком, принятые заказчиком по актам КС 2 и КС 3 и внесенные в стоимость объекта.

Таким образом, в распоряжении российского банка будет находиться залог, обеспечивающий оплату первого этапа строительства и обязательство подтвердить только аккредитив на сумму **выполненных работ**.

Российский банк дает письменное намерение на открытие аккредитива венгерскому банку.

Выводы

1. Предлагаемый на рынок товар, изделие, система должны соответствовать мировым стандартам и критерию «эффективность (качество) – стоимость» и иметь как можно больший сектор социально-экономической сферы применения;

2. В основе нового товара, соответствующего мировым стандартам, должны быть инновации и высокие технологии, реализованные в виде высокопроизводительного технологи-

ческого и вспомогательного оборудования, интегрирующие в себе научно-технические достижения российских и зарубежных партнеров по проекту.

3. Для инновационных проектов с длительным сроком окупаемости (6–8 лет) наиболее экономически целесообразны схемы финансирования от зарубежных банков промышленно развитых стран по Программам поддержки экспорта товаров и связанных с этим услуг своих фирм на основе контрактов с российскими предприятиями.

VIII. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И РЕШЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РКТ

А.В. Горюш, А.Е. Панич, С.Н. Свирская, В.В. Янчич

8.1. Физические основы функционирования пьезоэлектрических датчиков

При контроле, управлении и прогнозировании состояния сложных технических объектов необходимо измерение параметров, обуславливающих протекающие в них процессы, объективно характеризующие работу и состояние функциональных узлов и агрегатов. Начальным звеном и одной из важнейших составных частей, используемых для этих целей измерительно-информационных систем, являются датчики различных физических, в том числе механических, величин. Такие датчики, установленные непосредственно на контролируемом объекте, часто работают в сложных и дестабилизирующих условиях, к которым относятся: высокие и низкие температуры, вибрационные и ударные перегрузки, постоянные и переменные давления, интенсивные проникающие излучения, сильные магнитные и электрические поля, влага и агрессивные химические вещества. В первую очередь от характеристик применяемых датчиков зависят эффективность и надежность функционирования измерительных систем и, следовательно, контролируемых или управляемых технических объектов. Естественно, что кроме обеспечения возможности измерений в заданных динамическом и частотном диапазонах, датчики должны обладать достаточной стабильностью метрологических характеристик к внешним воздействующим факторам и высокой надежностью.

При всем разнообразии типов и номенклатуры существующих датчиков широкое распространение получили ПДМВ, которые используются для измерения параметров

вибрационного и ударного ускорения, акустического быстрогопеременного давления, силы, объемного и массового расхода жидкости и других величин. Эти датчики характеризуются следующими свойствами:

- широкими рабочими частотным, динамическим и температурным диапазонами;
- линейной характеристикой в широком динамическом диапазоне;
- непосредственным преобразованием измеряемой механической величины в пропорциональный электрический сигнал без использования источника питания (в датчиках генераторного типа);
- высокой стойкостью к воздействию внешних факторов;
- отсутствием движущихся частей и, как следствие, высокой надежностью и долговечностью;
- длительным сроком сохраняемости;
- сравнительной простотой конструкции;
- возможностью построения малогабаритных конструкций и высоким отношением чувствительности к собственной массе.

Среди ПДМВ различного назначения по совокупности общих особенностей можно выделить три группы датчиков генераторного типа, работа которых основана на использовании прямого пьезоэффекта:

- датчики ускорения (акселерометры), применяющиеся для измерения параметров вибрационного и ударного ускорений;
- датчики изменяющегося избыточного давления, которые условно подразделяется на датчики пульсации давления и акустические датчики;
- датчики силы, предназначенные для измерения динамических усилий.

Судя по сведениям, отраженным в научно-технической и патентной литературе, названные выше группы датчиков

получили наиболее широкое распространение. Это в рамках поставленной задачи позволяет ограничиться преимущественно их рассмотрением.

Обобщенная структурная схема ПДМВ генераторного типа показана на рис. 8.1.



Рис. 8.1. Структурная схема ПДМВ

ПДМВ включает электромеханический преобразователь и измерительную цепь. Электромеханический преобразователь состоит из преобразователя измеряемой механической величины (ускорения a , давления P или силы F) в усилие F_n , вызывающее упругую деформацию пьезоэлемента. В результате прямого пьезоэффекта при деформации пьезоэлемента генерируется пропорциональный значению приложенного усилия электрический заряд $Q_{вых}$ с разностью потенциалов $U_{вых}$, поступающий на измерительную цепь, связывающую пьезоэлемент с регистрирующим устройством.

Наиболее характерные конструктивные типы рассматриваемых ПДМВ с рабочей деформацией пьезоэлемента типа растяжения-сжатия (компрессионного типа), а также их механический аналог в упрощенном виде представлены на рис. 8.2. Кроме деформации растяжения-сжатия используются также пьезоэлементы со сдвиговой, изгибной, а в некоторых случаях с объемной рабочей и деформацией.

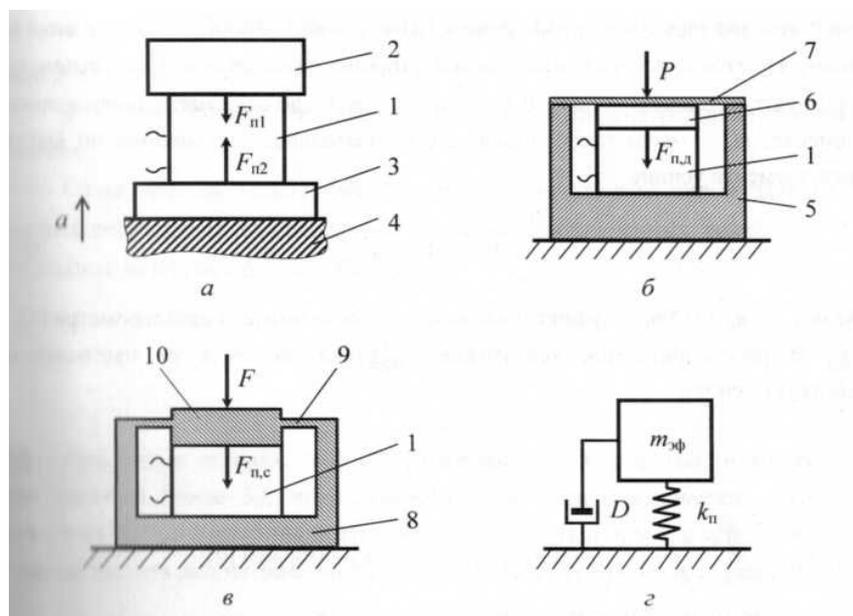


Рис. 8.2. Схемные конструкции пьезоэлектрических датчиков ускорения (а), давления (б), силы (в) и их механический аналог (г):
 1 – пьезоэлемент; 2 – инерционный элемент; 3, 8 – основание;
 4 – контролируемый (вибрирующий) объект; 5 – корпус; 6 – прокладка;
 7 – мембрана; 9 – гибкий элемент; 10 – платформа

Пьезоэлектрический акселерометр (рис. 8.2, а) состоит из жестко связанных между собой пьезоэлемента 1, инерционного элемента 2 и основания 3, соединяющего электро-механический преобразователь с контролируемым объектом 4, движущимся с ускорением a . В датчике давления (рис. 8.2, б) пьезоэлемент 1, расположенный внутри корпуса 5, механически связан через прокладку 6 с мембраной 7, воспринимающей измеряемое давление P . В датчике силы (рис. 8.2, в) пьезоэлемент 1 находится между основанием 8 корпуса и связанной с ним через гибкий элемент 9 платформой 10, к которой приложена контролируемая сила F .

Принцип преобразования измеряемой механической величины в усилие, действующее на пьезоэлемент, зависит от ее физической природы.

При измерении ускорения используется инерциальный метод, в основе которого лежит фундаментальное свойство тел – инерция. Согласно второму закону Ньютона, на противоположные стороны пьезоэлемента акселерометра действуют усилия $F_{п1}$;

$m_{и}$ – масса инерционного элемента, $m_{п}$ – масса пьезоэлемента. Следовательно, усредненное по высоте пьезоэлемента усилие

$$F_{п1} = am_{и} \text{ и } F_{п2} = a(m_{и} - m_{п}),$$

$$F_{п,a} = am_{эф,a}, \quad (1)$$

где $m_{фа} = m_{и} + 0,5m_{п}$ – эффективная масса преобразователя акселерометра [5].

В рассматриваемой конструкции датчика давления на пьезоэлемент действует усилие

$$F_{п,д} = s_{эф,м}P, \quad (2)$$

где $s_{эф,м} = \pi \left(\frac{r_{м} + r_{п}}{2} \right)^2$ – эффективная площадь мембраны;

$r_{м}$ – радиус мембраны; $r_{п}$ – радиус прокладки.

В датчике силы (см. рис. 8.2, в), в первом приближении (без учета упругое гибкого элемента 9), действующее на пьезоэлемент усилие

$$F_{п,с} = F. \quad (3)$$

Простейший механический аналог, общий для всех электромеханических преобразователей рассматриваемых датчиков, может быть представлен в одноконтурной колебательной системы (см. рис. 8.2, г) с одной степенью колебаний. Такая система имеет внутренние потери и совершает

вынужденные колебания под воздействием возмущающей гармонической силы. Здесь $m_{эф.}$ – эффективная масса соответствующего преобразователя; k_n — коэффициент упругости пьезоэлемента; D – демпфер, характеризующий внутренние электрические и механические потери в преобразователе (преимущественно в его пьезоэлементе). Из теории колебаний известно, что такая система имеет резонансную частоту

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}, \quad (4)$$

где ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний ($\beta=0$);

β – коэффициент затухания, обусловленный внутренними потерями системы.

Сдвиг фаз ϕ_0 между смещением и возмущающей силой зависит от соотношения между циклическими частотами вынужденных колебаний ω и свободных незатухающих колебаний ω_0 :

$$\operatorname{tg}\phi_0 = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (5)$$

При малых потерях, т.е. при механической добротности колебательной системы более 30, что характерно для пьезоэлектрических датчиков, исходя из (4) с достаточной для практики точностью можно считать, что резонансная частота рассматриваемой системы (частота установочного резонанса)

$$\omega_p = \omega_0 = \sqrt{\frac{k_n}{m_{эф.}}} = \sqrt{\frac{s_n E_n}{h_n m_{эф.}}}, \quad (6)$$

где s_n – площадь поперечного сечения пьезоэлемента;

E_n – модуль упругости пьезоматериала;

h_n – высота пьезоэлемента.

Таким образом, пьезоэлектрический преобразователь датчика имеет частоту механического резонанса, зависящую от параметров пьезоэлемента и эффективной массы системы. Есть основание полагать, что в первом приближении эффективная масса состоит из половины массы пьезоэлемента и общей массы непосредственно присоединенных к нему элементов конструкции преобразователя.

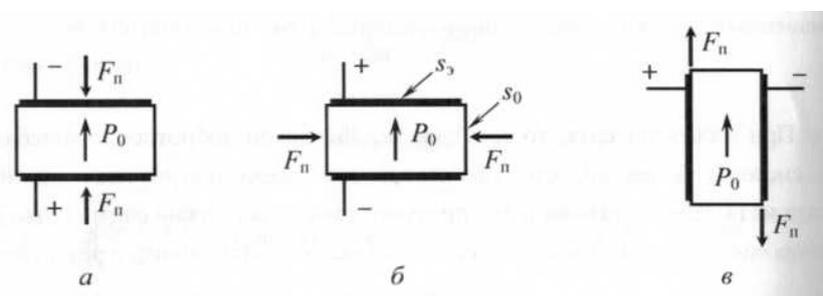


Рис. 8.3. Схема электродов и полярность генерируемого сигнала при продольной (а), поперечной (б) и сдвиговой (в) рабочих деформациях относительно направления поляризации P_0

В преобразователях с продольной, поперечной и сдвиговой рабочей деформацией (рис. 8.3) на частоте, значительно меньшей частоты резонанса, электрический заряд, возникающий на электродах однослойного пьезоэлемента, имеет следующие значения:

$$Q_{\text{вых,а}} = d_{33} F_n ; \quad (7)$$

$$Q_{\text{вых,б}} = \frac{s_3}{s_0} d_{31} F_n ; \quad (8)$$

$$Q_{\text{вых,в}} = d_{15} F_n , \quad (9)$$

где d_{33} , d_{31} , d_{15} – продольный, поперечный и сдвиговый пьезомодули;

S_3 и S_0 – площади электрода и поверхности пьезоэлемента.

При этом электрическое напряжение на электродах пьезоэлемента в отсутствии нагрузки (в режиме холостого хода)

$$U_{\text{ВЫХ,ХХ}} = \frac{Q_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{п}}}, \quad (10)$$

а генерируемая преобразователем электрическая энергия

$$W_3 = \frac{C_{\text{п}} U^2}{2} = \frac{Q_{\text{ВЫХ}}^2}{2C_{\text{п}}}. \quad (11)$$

Из ряда соображений в преобразователях часто используются пьезоэлементы, состоящие из нескольких активных слоев, электрически соединенных параллельно и синфазно.

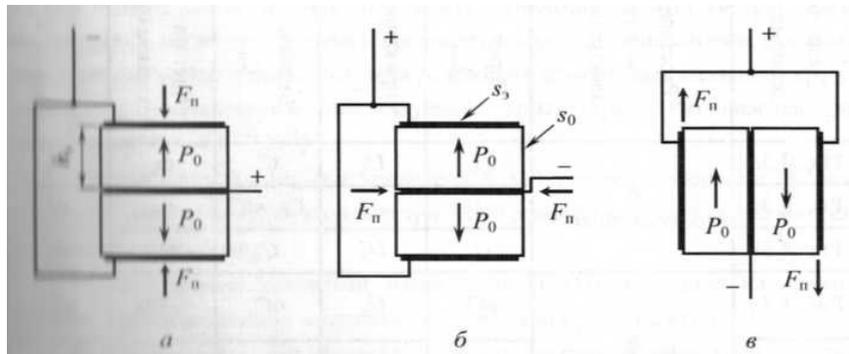


Рис. 8.4. Схемы двухслойных пьезоэлементов первой группы с продольной (а), поперечной (б) и сдвиговой (в) рабочими деформациями

Ниже в качестве примеров рассмотрены пьезоэлементы с различными типами рабочей деформации, состоящие из двух активных слоев. В первой группе пьезоэлементов (рис. 8.4) расстояние между электродами h , во второй группе – $0,5h$. Остальные геометрические параметры и электрофизические свойства пьезоматериала слоев пьезоэлементов, а также усилие F_n в этих группах полагаются идентичными.

Таблица 8.1

Сравнительные параметры пьезоэлементов

Схема, тип деформации	Расстояние между электродами	Параметр преобразователя				
		Заряд $Q_{\text{вых}}$	Напряжение $U_{\text{вых,кх}}$	Емкость C_n	Частота Резонанса ω_p	Электрическая энергия W_s
Рис. 8.3а	h (однослойный)	Q_a	U_a	C_a	ω_a	W_a
Рис. 8.3б		$-Q_b$	$-U_b$	$C_b = C_a$	ω_b	W_b
Рис. 8.3в		Q_n	U_n	C_n	ω_n	W_n
Рис. 8.4а	h (двухслойный)	nQ_a	U_a	nC_a	$\frac{1}{\sqrt{n}}\omega_a$	nW_a
Рис. 8.4б		$-Q_b$	$-\frac{1}{n}U_b$	nC_a	$\sqrt{n}\omega_b$	$\frac{1}{n}W_b$
Рис. 8.4в		nQ_n	U_n	nC_n	$\frac{1}{\sqrt{n}}\omega_n$	nW_n
	h/n (многослойный)	nQ_a	$\frac{1}{n}U_a$	n^2C_a	ω_a	W_a
		$-nQ_b$	$-\frac{1}{n}U_b$	n^2C_a	ω_b	W_b
		nQ_n	$\frac{1}{n}U_n$	n^2C_n	ω_n	W_n

В табл. 8.1 представлены сравнительные параметры однослойных и многослойных пьезоэлементов, состоящих из n активных слоев, выраженные через аналогичные параметры

однослойных пьезоэлементов. Данные приведены с учетом анизотропии свойств пьезоматериалов [8] для режима холостого хода при идентичных значениях усилия, действующего на пьезоэлементы.

Как следует из приведенных в таблице данных, изменение количества слоев в пьезоэлементе в некоторых случаях может заметно влиять на основные параметры преобразователя. Очевидно, что увеличение количества слоев в пьезоэлементах первой группы неизбежно связано с возрастанием одного из их размеров и массы, в то время как массогабаритные параметры пьезоэлементов второй группы остаются неизменными.

В преобразователях с рабочей деформацией изгиба обычно используются биморфные или униморфные пьезоэлементы. В этом случае изгибная деформация пьезоэлемента трансформируется в поперечные механические деформации (активный пьезомодуль d_{3j}) с противоположным знаком относительно нейтральной плоскости. Известны также однослойные изгибные тангенциально поляризованные пьезоэлементы с электродами специальной формы (активный пьезомодуль d_{33}) [5].

Одним из основных элементов измерительной цепи пьезоэлектрических датчиков является предварительный, или согласующий усилитель (СУ), осуществляющий преобразование высокого импеданса пьезоэлектрического элемента в более низкий. СУ позволяют подключать низкоимпедансную измерительную аппаратуру, а также осуществлять предварительное усиление сигнала и необходимое согласование параметров, отображающих измеряемые механические величины с параметрами используемой аппаратуры. Различаются две основные группы СУ [3]:

– согласующие зарядовые усилители (СЗУ), осуществляющие преобразование поступающего на их вход электрического заряда в пропорциональное ему на выходе;

– согласующие усилители напряжения (СУН), выходное напряжение которых пропорционально напряжению, приложенному к их входу.

Эквивалентные электрические схемы пьезоэлектрического датчика с источником заряда или напряжения, включая элементы линии передачи и входной цепи приведены на рис. 8.5 [5, 6], где элементы схем имеют следующие обозначения: C_n и R_n – электрическая емкость и активное сопротивление пьезоэлемента; C_k и R_k – емкость и сопротивление изоляции соединительного кабеля; $C_{вх}$ и $R_{вх}$ – входные емкость и сопротивление СУ; Q , U – источники напряжения.

В приведенных схемах не рассматриваются индуктивность и активное сопротивление кабеля, так как при реальных длинах последнего их влияние пренебрежимо мало. В большинстве случаев также можно пренебречь влиянием активных сопротивлений пьезоэлемента и изоляции, если они на нижней частоте ω_n рабочего диапазона значительно больше его емкостного сопротивления, т.е. $R_n \gg 1/\omega_n C_n$. При достаточно больших значениях $R_{вх}$ можно считать, что пьезоэлемент нагружен только емкостью $C_n = C_k + C_{вх}$.

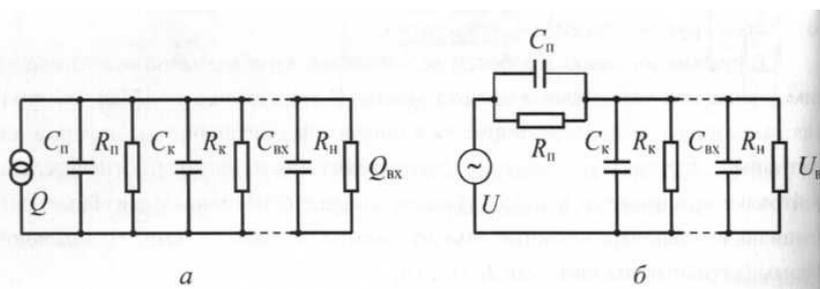


Рис. 8.5. Эквивалентные электрические схемы ПДМВ с источниками заряда (а) и напряжения (б)

С источником напряжения (рис. 8.5, б) при условии $R_n \gg 1/\omega_n C_{\Pi}$. следует, что напряжение на нагрузке, т.е. на входе СУН

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вых,хх}} C_{\Pi}}{C_{\Pi} + C_{\text{н}}}. \quad (12)$$

Следовательно, при использовании СУН емкость соединительной линии влияет на напряжение сигнала на его входе. Применение СЗУ позволяет исключить это влияние.

8.2. Основные технические характеристики датчиков

В зависимости от конкретных измерительных задач и условий эксплуатации, датчики характеризуются значительным числом параметров [1, 2, 5].

Основные технические характеристики ПДМВ укрупненно могут быть разделены следующим образом:

- метрологические, определяющие динамический и частотный диапазоны и измерения конкретной механической величины, а также точностные свойства, как в пределах названных диапазонов, так и при определенных, наиболее часто встречающихся внешних воздействиях, способных влиять на работу датчика;
- надежность;
- эксплуатационные, определяющие предельно допустимые значения внешних воздействующих факторов, массогабаритные параметры, соединительные размеры и некоторые иные свойства датчика.

В некоторых случаях необходимо иметь сведения об электрической емкости датчика, его резонансных частотах в свободном и закрепленном состояниях, сопротивлении изоляции, использованных конструкционных материалах и другие.

Основными метрологическими характеристиками ПДМВ являются:

- коэффициент преобразования;
- рабочий и динамический диапазоны измеряемой величины, нелинейность амплитудной характеристики (АХ);
- рабочий диапазон частот и неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ);
- рабочий диапазон температур и дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры;
- относительный коэффициент поперечного преобразования (ОКПП) акселерометра;
- коэффициент влияния на измеряемых внешних воздействий.

Коэффициент преобразования — обязательная характеристика, которая представляется как отношение значения выходного сигнала датчика к значению воздействующей на него измеряемой механической величины.

Коэффициенты преобразования по заряду K и напряжению K_n при продольной деформации растяжения-сжатия однослойного пьезоэлемента с учетом формул (1) – (3), (7) и (10):

- датчика давления:

$$K_3 = \frac{Q_{\text{вых}}}{a} = d_{33} m_{\text{эф,а}}, \quad K_n = \frac{K_3}{C_0} = \frac{d_{33} m_{\text{эф,а}}}{C_0}; \quad (13)$$

- датчика силы:

$$K_3 = \frac{Q_{\text{вых}}}{F} = d_{33}, \quad K_n = \frac{K_3}{C_0} = \frac{d_{33}}{C_0}; \quad (14)$$

где $C_0 = C_n + C_k$ – емкость датчика со штатным кабелем.

Иными словами, коэффициент преобразования соответствует сигналу (электрическому заряду или напряжению) на выходе датчика при воздействии единичного значения измеряемой величины, что позволяет определить значение этой

величины по полученному в процессе измерения выходному сигналу.

Рабочий диапазон измеряемой величины характеризует интервал значений этой величины, в пределах которого имеется однозначное соответствие измеренного выходного сигнала датчика к значению этой величины.

Нижняя граница рабочего диапазона (минимальный измеряемый уровень или порог чувствительности) для каждой модели датчика является условным параметром, определяемым минимальным значением выходного сигнала, которое может быть реально измерено с заданной точностью. Следовательно, нижняя граница зависит не только от коэффициента преобразования, но и от параметров регистрирующих устройств, включая их собственные шумы, а также от уровня помех различного происхождения, неизбежно проявляющихся при измерении предельно малых сигналов.

Верхняя граница рабочего диапазона датчика (предел преобразования) соответствует максимальному значению измеряемой величины, выше которого заметно нарушается функция преобразования этой величины в выходе сигнал. Наблюдаемое при этом искажение выходного сигнала может быть вызвано изменениями механических связей между отдельными элементами преобразователя, нелинейными зависимостями некоторых параметров элементов от механического напряжения и другими причинами.

Нелинейность АХ датчика δ_a определяется как максимальное отклонение коэффициента преобразования по заряду или напряжению от его среднего значения во всем диапазоне измерений и выражается в процентах:

$$\delta_3 = \frac{(K_i - K_{cp})}{K_{cp}} \cdot 100, \quad (15)$$

где K_i – коэффициент преобразования при i -м значении измеряемой величины;

среднее значение коэффициента преобразования:

$$K_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \quad (16)$$

где n – число измерений.

На нелинейность АХ существенно влияют свойства пьезоматериала, качество обработки сопрягаемых поверхностей элементов конструкции и усилие их поджатия. Большинство ПДМВ, по сравнению с другими типами, характеризуются высокой линейностью АХ.

Динамический диапазон датчика определяется как отношение значений верхней границы рабочего диапазона к нижней и выражается в децибелах.

Рабочий диапазон частот рассматриваемых датчиков ограничен тем, что значение их коэффициента преобразования не является постоянным на разных частотах. Так как датчик обязательно подключен к СУ, то в результате конечного входного сопротивления СУН или нарушения режима работы СЗУ наблюдается падение выходного сигнала на нижних частотах. С ростом частоты, по мере приближения к резонансу датчика, его выходной сигнал монотонно возрастает. В общем случае, коэффициент преобразования на любой частоте ниже резонансной представляется как

$$K = K_0(1 + \gamma_n + \gamma_v), \quad (17)$$

где K_0 – преобразования на горизонтальном участке АЧХ;

γ_n и γ_v – амплитудно-частотные погрешности на низких и высоких частотах соответственно.

Нижняя γ_n и верхняя γ_v граничные частоты рабочего диапазона обусловлены допустимыми, в зависимости от класса или назначения датчика, значениями амплитудно-частотных γ_n и γ_v , которые вызываются различными причинами и определяются независимо.

Причина появления погрешности γ_n в низкочастотной области обусловлена шунтирующим действием активной со-

ставляющей R_H входного сопротивления СУН. Для значений γ_n , не превышающих 20 %, имеет место выражение:

$$\gamma_n \approx -\frac{1}{8\pi^2 f_n (C_0 + C_d)^2 R_n^1}, \quad (18)$$

где C_0 – дополнительная емкость, подключенная к датчику, в том числе и входная емкость измерительного устройства.

Из (18) следует, что нижняя граница рабочего диапазона частот при измерении напряжения определяется суммарной емкостью в цепи преобразователя и значением активного входного сопротивления подключенного устройств. При измерении заряда амплитудно-частотная погрешность на низких частотах связана с параметрами используемого СЗУ и, прежде всего, постоянной времени RC цепи отрицательной обратной связи его операционного усилителя (ОУ). Таким образом, нижняя граница рабочего диапазона частот пьезоэлектрического датчика не является его индивидуальной характеристикой, так как зависит не только от значений его собственной емкости и сопротивления утечки, но и от параметров измерительной цепи, СУ и допустимой погрешности γ_n . В большинстве случаев минимальная рабочая частота ограничена значением 0,1 Гц.

Погрешность γ_v в высокочастотной области вызвана продольным резонансом механической системы датчика и без учета демпфирования составляет:

$$\gamma_v \approx \frac{1}{1 - (f_v / f_p)^2}. \quad (19)$$

Следовательно, при заданной погрешности верхняя граница рабочего диапазона частот зависит от фактического значения частоты резонанса закрытого датчика.

Неравномерность АЧХ выражается в процентах или децибелах и определяется как модуль максимального отклонения коэффициента преобразования в рабочем диапазоне

частот от номинального значения, измеренного на базовой частоте f_0 , которая наиболее часто выбирается из диапазона от 20 до 1000 Гц.

Неравномерность АЧХ в процентах:

$$\gamma = \frac{|K_m - K_0|}{K_0} \cdot 100, \quad (20)$$

где K_m – максимальное или минимальное значение коэффициента преобразования по заряду или напряжению;

K_0 – значение коэффициента преобразования на базовой частоте.

Для обеспечения погрешности на верхней частоте менее 5–12% на практике ограничиваются соответствующим значением:

$$f_v \leq (0,2-0,3)f_p. \quad (21)$$

При использовании СУН, если соблюдается неравенство

$$f_n R_n (C_0 + C_d) > 2, \quad (22)$$

погрешность на нижней частоте, независимо от конструкции датчика, будет мала (не более 1 %).

Рабочий диапазон температур датчика ограничен температурами, в пределах которых происходят необратимые изменения его характеристик и потери работоспособности при установленном сроке эксплуатации.

Постоянная или очень медленно изменяющаяся температура датчика непосредственно сказывается на значении его коэффициента преобразования, вызывая температурную погрешность измерений. В общем случае в пределах диапазона температур это связано с обратимыми температурными изменениями параметров пьезоматериала и дополнительным влиянием датчика на условия работы пьезоэлемента.

Температурный коэффициент преобразования указывают для всего диапазона рабочих температур или отдельных его поддиапазонов. Если зависимость коэффициента от тем-

пературы близка к линейной, то коэффициент (КВТ) K_T выражают в $\%/^{\circ}\text{C}$. При нелинейной зависимости определяют нижний $\delta_{нK}$ и верхний $\delta_{вK}$ пределы допустимых изменений коэффициента преобразования по заряду или напряжению, выраженные в процентах.

Если принимать во внимание только температурные изменения параметров пьезоматериала, то из (13) – (15) следует, что температурное изменение коэффициента преобразования по заряду $K_3(T)$ соответствует изменению рабочего пьезомодуля $d_{ij}(T)$, т.е.

$$\frac{\Delta K_3}{K_3} = \frac{\Delta d_{ij}}{d_{ij}}, \quad (23)$$

где $\Delta K_3 = K_3(T_1) - K_3(T_2)$;

$\Delta d_{ij} = d_{ij}(T_1) - d_{ij}(T_2)$;

T_1, T_2 – начальная и конечная температуры диапазона.

С учетом (12) температурное изменение коэффициента преобразования по напряжению $K_n(T)$ определяется не только температурными зависимостями пьезомодуля и емкости пьезоэлемента $C_n(T)$, но и значением общей емкостной нагрузки C_n , присоединенной к пьезоэлементу:

$$K_n(T) = \frac{K_3(T)}{C_n(T) + C_n}. \quad (24)$$

Это позволяет определить условия минимального изменения коэффициента преобразования в заданном интервале температур.

Так как температурные зависимости пьезомодуля и диэлектрической проницаемости различны, то температурные зависимости коэффициент преобразования по заряду и напряжению одного и того же датчика имеют разный характер. При этом температурное изменение коэффициента преобразования по напряжению в некоторых случаях может сущест-

венно отличаться от режима холостого хода. Для достижения максимальной температурной стабильности коэффициента преобразования по напряжению следует использовать емкостную нагрузку, оптимизированную для конкретного пьезоматериала заданного температурного диапазона.

Все акселерометры преобразуют в электрический сигнал не только ускорение в направлении их рабочей оси, но и частично ускорение, действующее в поперечном направлении. Это может вызвать дополнительную погрешность измерения, если реальное направление ускорения контролируемого объекта совпадает с направлением рабочей оси акселерометра. В общем случае возникновение сигнала от поперечного ускорения связано с несовпадением на некоторый угол оси максимальной чувствительности акселерометра с его рабочей осью.

По этой причине чувствительность к поперечному ускорению зависит от его направления и может быть представлена в виде диаграммы направленности в полярной системе координат.

Несовпадение направления оси максимальной чувствительности акселерометра рабочей осью вызвано рядом факторов. К ним в первую очередь относятся конструктивные особенности акселерометра, технологические неточности изготовления и сборки, неоднородность электрофизических свойств пьезоэлементов, а также качество обработки сопрягаемых поверхностей деталей пьезоэлементов и прилегающих к ним элементов конструкции. Определенный вклад вносят и деформации пьезоэлемента, вызывающие изменение направления его вектора поляризации.

Названные и некоторые другие факторы, результирующее влияние которых проявляется случайным образом, препятствуют полной взаимной компенсации зарядов, возникающих при воздействии поперечных ускорений.

ОКПП – параметр, характеризующий относительную максимальную чувствительность акселерометра к ускоре-

нию, действующему на него в поперечном направлении, выраженный в процентах:

$$K_{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{max}}}{K_3 \cdot a_{\text{п}}} \cdot 100, \text{ или } K_{\text{оп}} = \frac{U_{\text{max}}}{K_{\text{н}} \cdot a_{\text{п}}} \cdot 100, \quad (25)$$

где Q_{max} , U_{max} – соответствующие максимальные значения заряда или напряжения на выходе акселерометра при воздействии на него только ускорения в поперечном направлении;

K_3 , $K_{\text{н}}$ – коэффициенты преобразования по заряду или напряжению;

$a_{\text{п}}$ – значение ускорения, действующего на акселерометр в поперечном направлении.

Исходя из технических характеристик используемых испытательных стендов, как правило, ОКПП определяют на низких частотах. Однако существуют теоретические и экспериментальные данные, на основании которых можно полагать, что поперечный резонанс, обычно лежащий за пределами частот акселерометра, имеет место соответствующий максимум ОКПП, вызванный характерным для резонанса возрастанием деформаций элементов преобразователя.

Надежность датчиков, прежде всего, рассматривается в двух аспектах:

– механическая надежность – вероятность сохранения механической прочности конструкции датчика, целостности его конфигурации, электрических цепей и других узлов;

– метрологическая надежность – вероятность сохранения во времени достоверности измерений в пределах установленных норм в заданных условиях эксплуатации. В данном случае под отказом понимается выход суммарной погрешности датчика за допустимые пределы. Вероятность метрологического отказа $P_{\text{мо}}$ есть функция времени хранения τ_x и работы датчика τ_p , условий его эксплуатации ξ , а также допустимых границ изменения фиксированной точки функции преобразования X_{min} , X_{max} ; $P_{\text{мо}} = f(\tau_x, \tau_p, \xi, X_{\text{min}}, X_{\text{max}})$.

В этом смысле для периодически поверяемых датчиков межповерочный интервал $\tau_{\min} = \tau_x + \tau_p$.

Метрологическая надежность является одной из важнейших характеристик датчика. Для датчиков условно приняты следующие уровни метрологической надежности P_{\min} :

- $P_{\min} \geq 0,0999$ – высокая,
- $P_{\min} \geq 0,0995$ – повышенная,
- $P_{\min} \geq 0,0990$ – нормальная,
- $P_{\min} < 0,0990$ – пониженная.

На работу ПДМВ оказывают влияние внешние факторы, каждый из которых или их совокупность могут привести к искажению информации. Степень влияния названных факторов и возникающие при этом дополнительные погрешности измерения характеризуются коэффициентами влияния соответствующих физических величин, которые должны учитываться при проведении измерений.

8.3. Перспективы развития пьезоэлектрических датчиков механических величин для РКТ и других отраслей

Широкое распространение, благодаря своим особым свойствам, получили пьезоэлектрические датчики механических величин (ПДМВ) генераторного типа, работа которых основана на использовании прямого пьезоэффекта:

- датчики ускорения (акселерометры), применяющиеся для измерения параметров вибрационного и ударного ускорений;
- датчики изменяющегося давления, которые условно подразделяет на датчики динамического (пульсации) давления и акустического поля;
- датчики силы, предназначенные для измерения динамических усилий.

Однако, несмотря на постоянное совершенствование ПДМВ, их метрологические и эксплуатационные характеристики далеко не всегда удовлетворяют постоянно растущим требованиям.

Традиционно основными задачами развития и совершенствования ПДМВ являются [2, 3]:

- расширение частотного, динамического и температурного диапазонов;
- повышение стабильности метрологических характеристик к внешним влияющим воздействиям;
- повышение метрологической и эксплуатационной надежности, увеличение ресурса;
- повышение помехозащищенности;
- унификация конструктивных типов, исходя из условий применения;
- уменьшение массогабаритных параметров;
- снижение стоимости.

В качестве общих путей решения этих проблем можно отметить следующие, постоянно используемые приемы:

- совершенствование пьезоматериалов;
- совершенствование методов расчета, конструкций и технологий изготовления пьезоэлементов, преобразователей и датчиков в целом;
- совершенствование алгоритмов и электронных средств обработки сигналов датчиков.

Успешное развитие микроэлектронной техники способствовало появлению миниатюрных устройств, встраиваемых в датчики. Наибольшее распространение получили согласующие усилители. К числу других встраиваемых электронных устройств относятся схемы, используемые в так называемых «интеллектуальных датчиках», содержащие микроконтроллер и осуществляющие цифровую обработку аналоговых сигналов [4].

Несмотря на все положительные качества, достигаемые с помощью встраиваемых электронных устройств, общим недостатком таких датчиков является ограничение по температуре. В настоящее время в зависимости от исполнения встраиваемых электронных устройств их максимальная рабочая температура обычно лежит в пределах 85–125 °С [2].

В последние два–три десятилетия конструкторско-технологические работы по совершенствованию преобразователей и ПДМВ велись преимущественно по следующим основным направлениям [2, 3]:

- применение монокерамических и монокерамических конструкций;

- встраивание в преобразователь или датчик дополнительных функциональных устройств;

- увеличение числа измеряемых одним датчиком параметров или компонентов векторной величины.

При конструировании ПДМВ, наряду с использовавшимися ранее аналитическими методами расчета, широкое распространение получают прямые численные методы, среди которых лидирующее положение занимает метод конечных элементов. Применение программного пакета ANSYS для исследования конечно-элементных математических моделей пьезоэлектрических преобразователей датчиков открывает широкие перспективы их дальнейшего совершенствования [5].

Пределно достижимые технические характеристики ПДМВ главным образом ограничены параметрами используемых в них пьезоматериалов.

В качестве пьезоактивного материала в электромеханических преобразователях ПДМВ преимущественно применяются пьезокерамические материалы (ПКМ). В настоящее время существует широкая номенклатура ПКМ отечественного и зарубежного производства, предназначенных для различных технических целей. В таблице приведены усредненные значения некоторых электрофизических характеристик

ПКМ [1, 2, 6–8], которые могут применяться в ПДМВ различных типов.

Таблица

Параметры пьезокерамических материалов

Материал	Пьезомодуль d_{33} , 10^{-12} Кл/Н	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{33} = \epsilon_r/\epsilon_0$	Пьезокоэффициент $g_{33} = d_{33}/\epsilon_{33}\epsilon_0$, В·м/Н	Температура точки Кюри T_K , °С	Показатель G_T 10^3 В·м·°С/Н	Производитель (разработчик)
ЦТС-21	100	500	22,6	400	9,04	Россия
ЦТС-45	320	1650	21,9	350	7,67	
ЦТС-19	360	1650	24,3	300	7,02	
ЦТС-19М	410	1850	25,1	300	7,53	
ЦТСНВ-1	425	2325	20,1	240	4,82	
ЦТСтБС-1	600	4100	16,6	170	2,81	
ЦТС-36	300	850	39,8	360	14,33	Россия (НИИ фи- зики ЮФУ)
ПКР-7	528	3300	18,1	220	3,98	
ПКР-7М	718	4760	17,1	175	2,99	Россия «НКТЬ «Пьезоприбор» ЮФУ)
ТНВ-1 (-2)	10 (14)	110 (140)	10,3 (11,3)	930	9,6 (10,5)	
НТВ-2	27	140	21,8	660	14,39	
ЦТСБ	130	850	17,3	370	6,4	
ЦТС-19П	290	700	46,0	290	17,13	
ЦТС-83Г	300	1350	22,2	360	7,99	
ЦТС-19М1	425	1900	25,7	320	8,22	
ЦБС	450	2200	23,1	190	4,39	
ЦТС-ЦНН	650	3650	20,1	235	4,7	
ЦЛС-49/80	700	3600	22,0	230	5,06	
ЦТС-ЦННФ	750	4200	20,2	180	3,64	
РХУ-5	390	2000	22,1	285	6,01	ЕС
72-А	450	2000	25,5	315	8,03	Япония
P14	15	175	9,7	650	6,3	США
PZT-4	290	1350	24,3	325	7,9	
PZT-5А	370	1750	23,9	325	7,77	
PZT-5Н	590	3400	19,6	193	3,78	

Основными параметрами ПКМ, в наибольшей степени определяющими исходные характеристики рассматриваемых датчиков, являются:

– пьезомодуль d_{ij} , пропорционально связанный со значением коэффициента преобразования по заряду;

– относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_{ij} (отношение d_{ij}/ϵ_{ij} непосредственно влияет на значение генерируемого напряжения);

– пьезокоэффициент $g_{ij} = d_{ij}/\epsilon_{ij}\epsilon_0$ ($\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-12}$ Ф·м⁻¹ – диэлектрическая проницаемость вакуума), который определяется как напряженность электрического поля между электродами пьезоэлемента при разомкнутой цепи, вызванная действующим усилием;

– температура фазового перехода (точка Кюри, T_K), от значения которой зависит предельно допустимая рабочая температура ПКМ, обычно лежащая в пределах $(0,5-0,8)T_K$ (в °С) [2].

При сравнительной оценке пьезоматериалов можно использовать предложенный здесь показатель их эффективности $G_T = g_{33} \cdot T_K$, учитывающий роль значений пьезомодуля и диэлектрической проницаемости в формировании выходного сигнала преобразователя, а также предельную температуру существования сегнетопьезоэлектрических свойств рассматриваемого состава.

Для большинства ПКМ системы цирконата-титаната свинца (ЦТС, или PZT) значения сдвигового, продольного и поперечного пьезомодулей связаны следующим образом: $(0,63-0,77)d_{15} \approx d_{33} \approx -2d_{31}$. Высокотемпературные составы на основе титаната висмута (ТВ), модифицированного оксидами натрия или ниобия, характеризуются на порядок меньшими значениями пьезомодуля d_{31} по сравнению с d_{33} .

Значения таких параметров ПКМ, как упругая податливость, влияющая на частоту резонанса преобразователя, механическая прочность и ряд других, мало зависят от состава керамики.

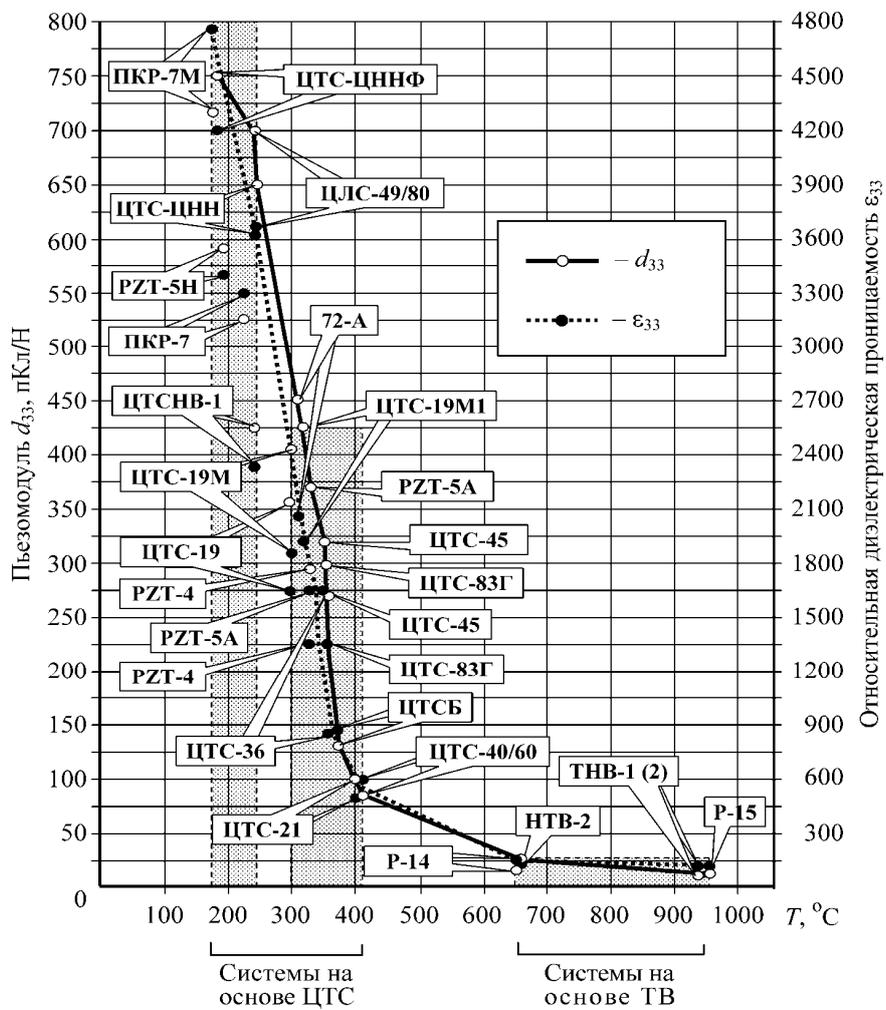


Рис. 8.6. Максимальные значения пьезомодуля и диэлектрической проницаемости в группах ПКМ с различной температурой точки Кюри

На стабильность метрологических характеристик датчика наиболее существенное влияние оказывает изменение названных выше параметров в процессе воздействия внешних влияющих факторов.

Анализ электрофизических характеристик ПКМ позволяет сделать однозначный вывод, согласно которому повышение их предельной рабочей температуры неизбежно связано со снижением пьезоактивности и диэлектрической проницаемости, что наглядно иллюстрируется рис. 8.6.

Разработки ПКМ на основе твердых растворов ЦТС, расположенных вблизи морфотропной области, позволили получить составы, обладающие высокими значениями пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи в широких диапазонах температур. Дальнейшее развитие материалов данной системы связано с их модификацией монооксидами различных металлов, а затем созданием многокомпонентных систем твердых растворов, включающих ЦТС. В последнее время ведется поиск других систем ПКМ. Например, высокотемпературные сегнетопьезокерамические материалы на основе твердых растворов $\text{BiVO}_3 - \text{PbTiO}_3$ ($\text{B}^{3+} = \text{Fe}, \text{Sc}, \text{In}$) имеют довольно высокие пьезосвойства и температуру точки Кюри 400–500 °С. Бессвинцовые ПКМ, разработка которых ведется с целью замены токсичных соединений свинца, по своим основным свойствам существенно уступают свинцовосодержащим материалам [9].

Ориентируясь на максимальные значения параметров ПКМ, приведенных в таблице, можно выделить следующие составы:

– ЦЛС-49/80, ПКР-7М и ЦТС-ЦННФ, пьезомодуль d_{33} которых составляет $(700-750)10^{-12}$ Кл/Н;

– ЦТС-36 (ПКР-1) и ЦТС-19П с пьезокоэффициентом g_{33} 39,8 и 46 В·м/Н;

– Р14, НТВ-2, ТНВ-1 и ТНВ-2 с температурой точки Кюри в пределах от 650 до 930 °С;

– ЦТС-36 (ПКР-1), НТВ-2 и ЦТС-19П, отличающиеся высоким значением показателя эффективности $G_T = (14,33–17,13)10^3 \text{В}\cdot\text{м}\cdot^\circ\text{С}/\text{Н}$.

Диаграмма (рис. 8.7) отражает возможности ПКМ с максимальными значениями параметров в сравнении с широко известным составом ЦТС-19.

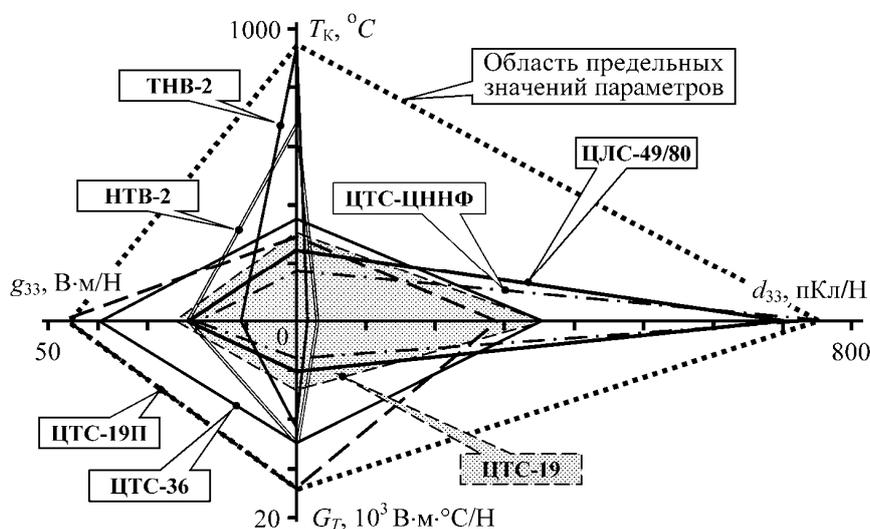


Рис. 8.7. Сравнительные возможности ПКМ

Как видно из диаграммы, ни один из составов по совокупности основных характеристик не охватывает всю область предельных значений параметров, достигнутой в настоящее время. Следовательно, при выборе материала не достаточно руководствоваться только названными параметрами.

Использование положительных результатов работ, постоянно ведущихся в области совершенствования ПКМ и

технологии их производства [7–10], безусловно, способствует улучшению метрологических и эксплуатационных характеристики ПДМВ. Это в первую очередь относится к повышению стабильности их коэффициента преобразования, расширению динамического и температурного рабочих диапазонов. Вместе с тем нет реальных оснований в ближайшее время ожидать появления новых технологий производства и составов ПКМ, по совокупности параметров способных обеспечить революционный прорыв в данном направлении. Однако во многих случаях наиболее важным является комплекс определенных свойств материала, необходимый для оптимального решения конкретной технической задачи.

В этой связи в качестве перспективных задач дальнейшего совершенствования ПКМ можно отметить следующие:

- улучшение воспроизводимости основных свойств материалов при их серийном выпуске;
- повышение стабильности параметров к воздействию внешних влияющих факторов;
- обеспечение возможности варьирования электрофизических параметров ПКМ базового состава в зависимости от предъявляемых требований;
- совершенствование технологических процессов производства, включая сырьевые компоненты, ПКМ и изделия из них.

В качестве одного из путей дальнейшего совершенствования и развития ПДМВ может рассматриваться создание датчиков на основе интегрированных многофункциональных преобразователей (ИМФП), отличающихся способностью реализации комплекса функций в едином преобразователе.

Основной принцип построения ИМФП заключается в том, что элемент преобразователя ПДМВ в виде монолитного тела из пьезоэлектрической керамики содержит ряд областей или зон, выполняющих различные функции, необходимые для обеспечения заданных технических характеристик. Функциональные зоны могут быть локализованы как в объе-

ме блока, при необходимости пересекаясь в пространстве, так и с использованием поверхностных слоев [11].

Многофункциональное построение преобразователей датчиков является предпосылкой к достижению качественно новых показателей в данной области приборостроения. Применение ИМФП, особенно в сочетании со встроенными в датчик или внешними обрабатывающими электронными устройствами, обеспечивает широкие возможности, недоступные для обычных ПДМВ. В качестве примера на рис. 8.8 [3] приведен один из вариантов реализации функций в датчике с ИМФП и электронной системой обработки сигналов.

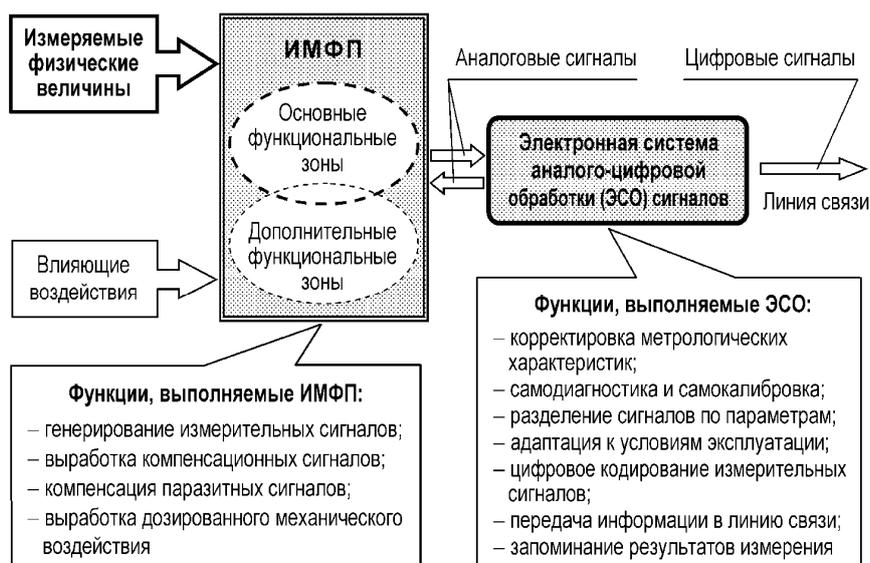


Рис. 8.8. Функции, реализуемые многофункциональным датчиком на основе ИМФП в сочетании с электронной системой аналого-цифровой обработки сигналов

Исследования и разработки, проведенные в НКТБ «Пьезоприбор» Южного федерального университета, подтвердили принципиальную возможность выполнения ИМФП в виде монолитного или монокерамического блока из ПКМ и наглядно показали достигаемый при этом положительный эффект [3]. Вместе с тем работы по данному направлению еще далеки от завершения.

Очевидно, что ни один из известных путей совершенствования ПДМВ не следует считать универсальным. Максимально эффективным может быть только комплексный подход с учетом назначения и условий применения разрабатываемого датчика и всего измерительного комплекса.

Литература

1. *Богущи М.В.* Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. – 346 с. – (Пьезоэлектрическое приборостроение. – Т. 3).
2. *Янчич В.В.* Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры). – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – 304 с. – (Пьезоэлектрическое приборостроение. – Т. 7).
3. *Янчич В.В., Янчич В.В.* Преобразователи пьезоэлектрических датчиков механических величин (конструкции и пути развития). – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland, 2013. – 142 с.
4. *Янчич В.В., Синютин С.А., Иванов А.А.* и др. Пьезоэлектрические интеллектуальные датчики вибрации // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения и нанотехнологий». – Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2006. – С. 75-77.
5. *Митько В.Н., Крамаров Ю.А., Панич А.Е.* Математическое моделирование физических процессов в пьезоэлектрическом приборостроении. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. – 240 с. – (Пьезоэлектрическое приборостроение. – Т. 6).

6. *Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В.* Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.

7. *Гориши А.В., Дудкевич В.П., Куприянов М.Ф.* и др. Пьезоэлектрическое приборостроение / Под ред. А. В. Гориша. – Т. 1. Физика сегнетоэлектрической керамики. – М.: ИПРЖР, 1999. – 368 с.

8. *Панич А.А.* Создание новых пьезоэлектрических материалов и приборов на их основе: Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МИРЭА, 2013. – 368 с.

9. *Поплаво Ю.М., Переверзева Л.П., Раевский И.П.* Физика активных диэлектриков. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. – 480 с.

10. *Нестеров А.А., Панич А.Е.* Современные проблемы материаловедения керамических пьезоэлектрических материалов. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – 225 с. – (Пьезоэлектрическое приборостроение. – Т. 8).

11. *Янчик В.В., Панич А.Е., Янчик В.В.* Перспективы применения интегрированных многофункциональных преобразователей в пьезоэлектрических датчиках механических величин // Инженерный вестник Дона. – 2010. – № 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2010/209/> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8.4. Погрешности в измерительных цепях пьезоэлектрических датчиков

А.В. Горюш, И.С. Рубцов

ПД, подобно любому измерительному прибору, применяющемуся для измерения любого физического параметра (ФП), показывает только свою собственную величину электрического сигнала. В общем случае, эта величина электрического сигнала, которая обуславливает величину ФП, если не принять специальных мер, будет отличаться от истинной величины ФП. Задача заключается в определении существующей разности между показаниями датчика и величиной измеряемого ФП, и либо внести надлежащую поправку в измеряемые результаты, или таким образом сконструировать датчик, чтобы эта разность не превышала допустимой величины.

Информативность ПД характеризуется динамическим и частотным диапазонами, основной погрешностью и дополнительными погрешностями, обусловленными действиями различных факторов.

Погрешности ПД в условиях эксплуатации связаны с изменением температуры, воздействием ЭМП, радиации, квазистатического давления, агрессивных сред и др. При этом наиболее существенными практически для всех видов датчиков являются температурные погрешности, которые у большинства датчиков значительно превышают все остальные погрешности вместе взятые.

В РКТ традиционными областями применения ПД являются измерения вибраций, быстропеременных давлений, механических силовых воздействий и др.

ПД имеют следующие преимущества: простота конструкторского исполнения, малые веса и габариты, широкие динамические и частотные диапазоны, высокая линейность,

широкий диапазон температур, исключительно высокие эксплуатационные характеристики и невысокая стоимость.

Известно, что все погрешности с учетом влияния на результирующую точность делятся на два вида: аддитивную и мультипликативную.

Эквивалентная электрическая схема ПД без внесения существенных погрешностей, связанных с непредвиденными дестабилизирующими воздействиями, показана на рис. 8.9. Здесь C_3 и $R_э$ – емкость и сопротивление кабельной цепи датчика, C_y и R_y – емкости (компенсационная, регулировочная) и сопротивление усилителя, C_0 емкость ПЭ.

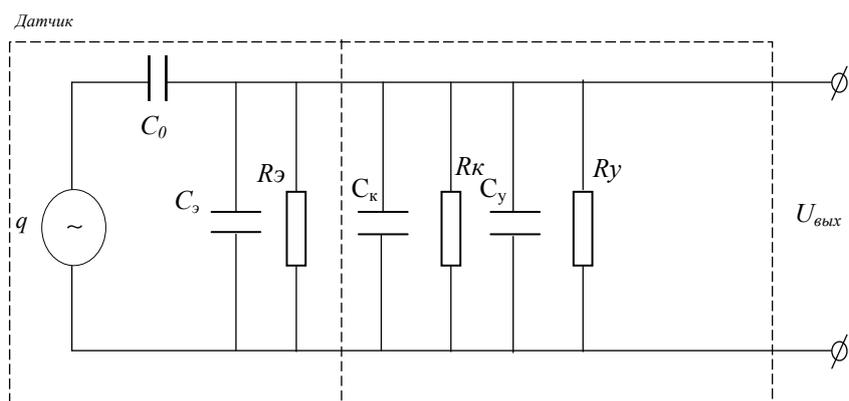


Рис. 8.9. Эквивалентная электрическая схема ПД

Для анализа причин, влияющих на выходное напряжение ПД, электрическую схему ПД (см. рис. 8.9) можно представить в виде рис. 8.10, где R – суммарное сопротивление, включающее сопротивление изоляции кабеля, входное сопротивление усилителя, сопротивление ПЭ; C – суммарная емкость (кабеля, входа усилителя, компенсационные и регу-

лировочные, а также различные добавочные), которая имеет вид: $C = C_0 + C_{\text{вх}}$.

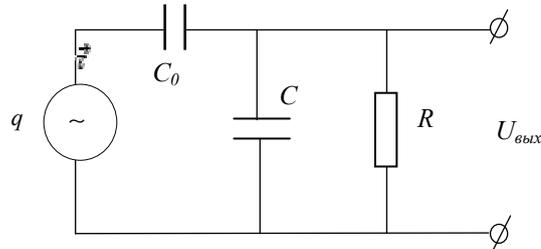


Рис. 8.10. Эквивалентная электрическая схема ПД с учетом R -суммарного сопротивления / изоляции кабеля, входного сопротивления усилителя, сопротивления ПЭ и суммарной емкости

Из рис. 8.10 видно, что электрическая цепь характеризуется сопротивлениями и емкостями, а также является преобразователем неэлектрического сигнала и электрический.

Входной величиной этой цепи является выходное напряжение ПД:

$$U_{\text{вх}} = (d_{33} F)/C, \quad (2)$$

где K – коэффициент, характеризующий конструкционные особенности и размеры ПЭ, d_{33} – ПД, F – сила, действующая на ПД.

Для того чтобы представить выходную величину ($U_{\text{вх}}$) рассматриваемой цепи, допустим, что сила F (действующая на ПД) изменяется по синусоидальному закону: $f = F_m \sin(\omega t)$. Мгновенное значение тока $i = \partial Q / \partial t = \partial(d_{33} \underline{E}_m \sin(\omega t)) / \partial t$. Следовательно,

$$i = j\omega d_{33} F \text{ и } U_{\text{вх}} = d_{33} F (j\omega R) / (1 + j\omega RC). \quad (3)$$

Из (3) видно, что амплитуда напряжения и сдвиг фаз между напряжением и измеряемой силой зависят от частоты.

Величину $U_{\text{вых}}$ с учетом (3) можно представить:

$$U_{\text{вых}} = k d_{33} FR\omega^{-2} + R^2 C^2)^{-1/2}, \quad (4)$$

$$\varphi = \pi/2 - \arctg(\omega RC). \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует, что на высоких частотах $U_{\text{вых}}$ не будет зависеть от частоты. Тогда на высоких частотах (4) с учетом (1) переписывается

$$U_{\text{вых}} = k d_{33} F/C_0 + C_{\text{вх}}) \quad (6)$$

Из (6) видно, что выходное напряжение преобразователя существенно зависит от полной емкости цепи. Кроме того, для расширения частотного диапазона следует увеличить постоянную времени цепи $\tau = RC$.

Теперь с учетом (1), (4) и (6) функцию преобразователя измерительной цепи ПД можно записать:

$$K_d = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = RC_0(\omega^{-2} + R^2 C^2)^{-1/2}, \quad (7)$$

где K_d – коэффициент преобразований ПД (чувствительность измерительной цепи датчика).

Из (7) следует, что чувствительность измерительной цепи ПД характеризуется собственной и присоединенной емкостями ПД и существенно зависит от частоты. Следовательно, при создании преобразователя необходимо учитывать его собственную емкость.

Чувствительность измерительной цепи ПД с учетом (1) представим в следующем виде:

$$K_d = RC_0(\omega^{-2} + \omega_0^{-2})^{-1/2}, \quad (8)$$

$$\omega_0^{-1} = R(C_0 + C_{\text{вх}}). \quad (9)$$

Из (8) видно, что чувствительность измерительной цепи ПД не зависит от частоты, а (8) переписывается:

$$K_{до} = \omega_0 + R C_0). \quad (10)$$

Выражение (10) с учетом (9) здесь:

$$K_{до} = C_0 / (C_{вх} + C_0). \quad (11)$$

Оценим частотную погрешность рассматриваемой цепи. Из (10) и (11) следует, что расширения частотного диапазона можно достичь за счет увеличения емкости $C_{вх}$. Это легко осуществляется включением параллельно преобразователю конденсаторов, однако это приводит к уменьшению выходного напряжения преобразователя. Увеличение сопротивления R приводит к расширению частотного диапазона без потери чувствительности, однако не всегда представляется возможным повысить входное сопротивление усилителя больше чем до $10^8 - 10^{10}$ см.

Для увеличения чувствительности пьезоэлектрического преобразователя его ПЭ выполняется в виде ряда параллельно соединенных пластин. В этом случае чувствительность преобразователя определяется формулой

$$S = d_{33} \eta (C_{вх} + nC_0), \quad (12)$$

где n – число параллельно соединенных пластин, C_0 – емкость одной пластины.

Работы по созданию многослойных пьезомодулей успешно проводились и в настоящее время проводятся в ОКБ «Пьезоприбор». Получены хорошие результаты. Созданы пьезомодули, которые реализованы в датчиковой аппаратуре, применяемой на РКТ.

Частотную погрешность рассматриваемой цепи можно записать:

$$\eta_f = (K_d - K_{до}) / K_{до}. \quad (13)$$

С учетом (8) и (9) выражение (13) можно представить в окончательной виде:

$$\eta_f = \omega_n (1 + \omega_n^2)^{-1/2} - 1, \quad (14)$$

где $\omega_n = \omega / \omega_0$ – частотный параметр.

На рис. 8.11 представлена зависимость $\eta_f = f(\omega_n)$, построенная по (14). Видно, что при величинах соотношения ω/ω_0 в интервале 7+10 обуславливается допустимая погрешность, так, например, при $\omega_n = 7$ величина погрешности η_f составляет 1%, а при $\omega_n = 10$, соответственно, 0,5%.

Следовательно, в этом интервале находится величина допустимой погрешности, которая соответствует оптимальной величине $\omega_{n \text{ opt}}$. Граничная частота (см. рис. 8.11), таким образом, есть $\omega_{n \text{ opt}} = \omega_{\text{opt}}/\omega_0$.

Следует отметить, что при допустимой частотной погрешности $\eta_{\text{доп}}$ имеет место и оптимальная величина $\omega_{n \text{ opt}}$. Поэтому (15) с учетом (9) переписывается так:

$$\omega_{n \text{ opt}} = \omega_{\text{opt}}/[R(C_0+C_{\text{вх}})]. \quad (16)$$

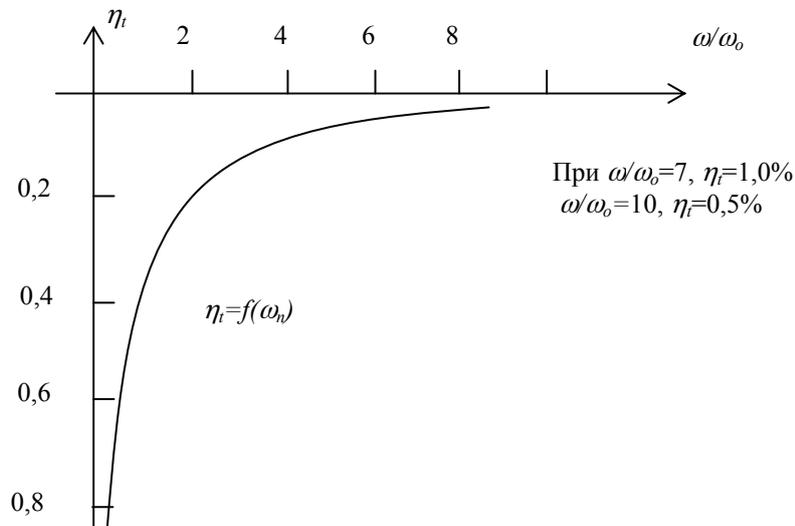


Рис. 11. Зависимость погрешности от частоты

Оптимальную величину частоты ω_{opt} можно выразить через чувствительность измерительной цепи ПД, используя (10):

$$\omega_{\text{п opt}}/\omega_{\text{opt}} = K_{\text{до}}/(RC_0). \quad (17)$$

Получилось достаточно простое и универсальное выражение (17), которое позволяет в процессе конструирования датчиков на основе ПЭ определять правильные пути совершенствования ПД с учетом допустимой погрешности.

IX. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В НАПРАВЛЕНИЯХ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИИ

9.1. Информатизация процессов метрологического обеспечения производства ракетно-космической техники

*Ф.Ф. Краснобабцев, Д.В. Панов,
П.М. Поморцев, И.С. Рубцов*

Одними из перспективных и актуальных направлений совершенствования метрологического обеспечения производства ракетно-космической техники (РКТ) являются автоматизация управления метрологическим обеспечением и информационное обслуживание организаций ракетно-космической промышленности (РКП) в области метрологии и обеспечения единства измерений [1].

Всесторонний анализ процессов, влияющих на качество и надежность изделий РКТ, не представляется возможным без построения их информационных моделей, в том числе и процесса метрологического обеспечения.

На сегодняшний день в РКП рассматривается концепция системы управления метрологическим обеспечением производства РКТ, ядром которой является отраслевая информационно-аналитическая система. Целевое назначение системы – организация информационного обмена данными и обеспечение информационной поддержки деятельности метрологических служб организаций РКП путем использования средств автоматизированного сбора, обработки, анализа, представления и хранения данных о метрологическом обеспечении РКТ [2].

Основными задачами системы являются:

– извлечение из многих источников разнородных данных по направлениям метрологического обеспечения РКТ,

представленных в различных форматах, и приведение их к единому формату и единой структуре;

- организация хранения и предоставления пользователям необходимой для принятия решений информации;

- анализ, в том числе оперативный и интеллектуальный, и подготовка плановой или регулярной оценки состояния управляемого объекта в документах или экранных форм;

- подготовка результатов оперативного и интеллектуального анализа для эффективного их восприятия потребителями и принятия на ее основе взвешенных решений.

Ядром информационной системы является информационное хранилище, как правило, представляющее собой модель предметной области. В данном случае под предметной областью понимается система метрологического обеспечения предприятий РКП, входящих в единую кооперацию по созданию и производству того или иного изделия РКТ.

Принцип организации информационного хранилища системы заключается в накоплении сведений по метрологическому обеспечению производства и дальнейшей их синхронизации с показателями качества изготовления изделий РКТ и сведениями по другим видам обеспечения.

Одним из основных этапов, влияющих на качество принятых решений в системе управления метрологическим обеспечением, является сбор и предварительный анализ исходной информации. Для исключения субъективных ошибок и снижения трудоемкости данные процессы подлежат автоматизации путем применения универсальных программно-аппаратных модулей (ПАМ), реализующих алгоритмы, в основе которых лежат задачи метрологического обеспечения производства.

В данном случае ПАМ могут быть охарактеризованы как совокупность информационных программно-технических ресурсов, обеспечивающих конечному пользователю обработку данных и автоматизацию управленческих функций в конкретной предметной области.

Типовые задачи метрологического обеспечения, подлежащие автоматизации, приведены на рис. 9.1.

Все задачи подлежащие автоматизации, могут быть разделены на три основных класса: задачи планирования, учета и анализа.

Автоматизация процесса планирования может быть рассмотрена в части:

- взаимоувязки мероприятий и сроков выполнения плановых работ;
- контроля выполнения на всех уровнях плановых мероприятий;
- фиксирования сроков отработки плановых мероприятий, а также формирования, регистрации и хранения отчетных материалов и др.

В рамках задачи учета предполагается автоматизация следующих основных процедур:

- ведение перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;
- формирование и ведение полной базы данных (БД) задач измерений, эталонов, средств измерений, испытательного и контрольного оборудования;
- ведение архива всех изменений (истории поверок (калибровок), истории изменений паспорта, истории движения СИ, истории эксплуатации и ремонтов);
- формирование графиков и планово-предупредительных метрологических работ согласно информации в БД;
- определения плановых расходов на осуществление метрологической деятельности;
- информирование исполнителей о поставленных задачах по графикам планово-предупредительных метрологических работ;
- подготовка оперативной информации и статистических отчетов различной структуры по разным аспектам функционирования метрологической службы.

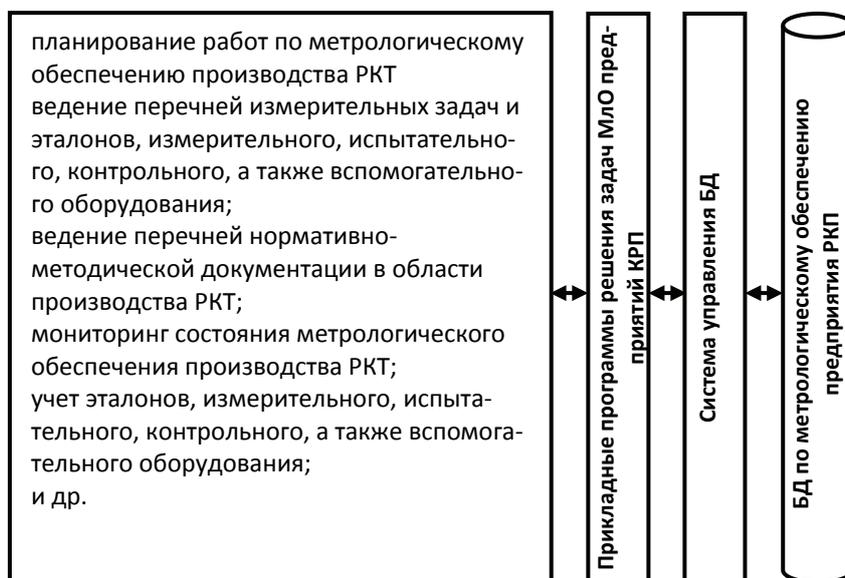


Рис. 9.1. Основные задачи метрологического обеспечения организаций РКП, подлежащие автоматизации

Автоматизации задачи анализа состояния и качества выполнения плановых мероприятий системы метрологического обеспечения, как правило, выполняется по трем уровням:

- на уровне метрологических служб организаций (предприятий) РКП, интегрированных структур, комплекса Байконур;
- на уровне головных организаций по направлениям метрологического обеспечения;
- на уровне главного метролога отрасли.

В качестве примера рассмотрена задача анализа на первом уровне в рамках отдельно взятой организации РКП.

Процесс формирования исходной информации осуществляется путем использования прикладных программных средств с функциями предварительной их обработки и регистрации в базе данных по метрологическому обеспечению предприятия РКП.

Процедура накопления данных осуществляется в автоматизированном режиме в форме специальных таблиц, содержащих синтаксис и семантику, как объектов метрологического обеспечения, так и самого процесса.

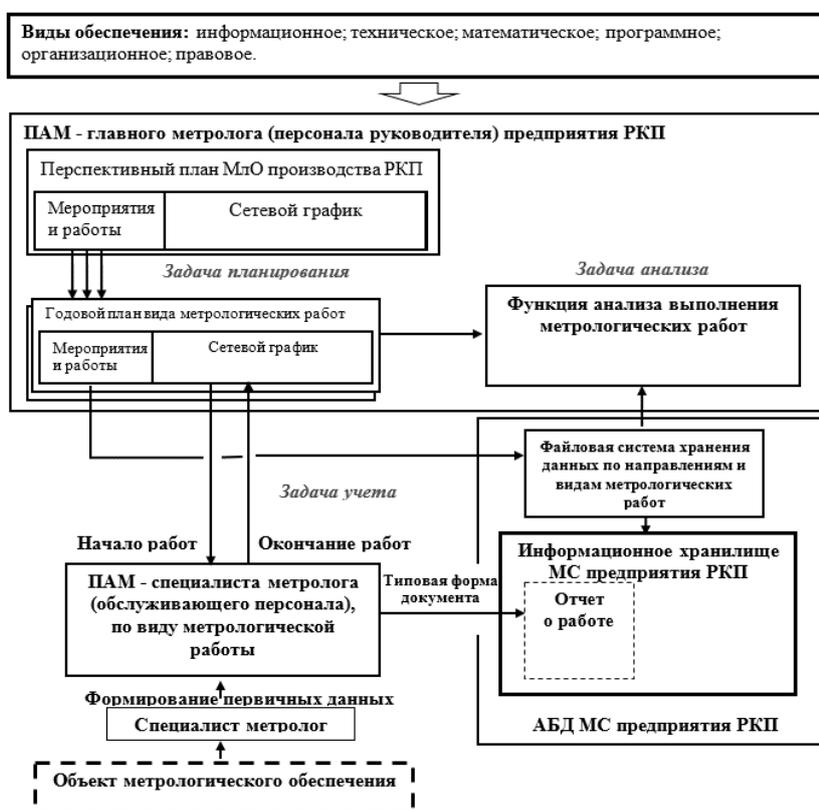


Рис. 9.2. Система автоматизированного сбора и предварительной обработки данных по метрологическому обеспечению предприятия РКП

Механизм сбора исходных данных описан с помощью рис. 9.2.

На рис. 9.2 представлены: виды обеспечения, ПАМ различного уровня и автоматизированная БД по метрологическому обеспечению предприятия РКП.

Механизм сбора исходной информации осуществляется на двух уровнях ПАМ: руководителя работ и специалиста метрологической службы.

На первом уровне в рамках сетевого планирования метрологических работ задаются конкретные сроки, объем и степень важности выполняемой задачи.

Исполнитель нижнего уровня, выполняя конкретную работу в установленные сроки в конкретных условиях, описывает свойства объекта метрологического обеспечения. Результаты выполненной работы направляет в виде отчета по типовой форме в информационное хранилище метрологической службы предприятия РКП.

В информационном хранилище полученные данные структурируются по времени, плановой и производственной деятельности предприятия РКП, а также деятельности входящих в их состав подразделений, эксплуатирующих средства измерений, контроля и испытаний.

Аналитическая работа в системе метрологического обеспечения предприятия РКП в зависимости от задачи анализа может осуществляться в одном из трех режимов: плановом (регулярном); оперативном (технология – OLAP); углубленном (интеллектуальном) (технология –Data mining) [3].

Режимы анализа выбираются в зависимости от требований к степени и глубине проработки вопросов метрологического обеспечения производства.

Следовательно, с помощью представленной системы автоматизированного сбора и предварительной обработки данных по метрологическому обеспечению производства изделий РКТ (другой продукции) формируется информацион-

ное пространство деятельности предприятия в области метрологии.

Источником исходных данных для формирования информационного пространства интегрированной структуры (кооперации предприятий) являются базы данных по метрологическому обеспечению отдельных, входящих в нее предприятий РКП, информация в которое поступает либо по отдельному запросу, либо по определенной программе аналитической обработки данных.

Таким образом, формирование и регулярное обновление информационного пространства, состоящего из данных синхронизированных по времени и событиям, позволяет строить информационные модели и осуществлять аналитическую деятельность предприятий РКП или их кооперации в сфере обеспечения единства измерений и метрологического обеспечения РКТ в реальном времени, оперативно и эффективно.

Литература

1. Приказ Роскосмоса от 4 октября 2010 г. № 149 «О создании Метрологической службы Федерального космического агентства».

2. *Поморцев П.М.* Вопросы организации мониторинга состояния метрологического обеспечения производства ракетно-космической техники // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции «Метрологическое обеспечение испытаний и измерений в авиационно-космической промышленности», Москва, 22-23 ноября 2013 года. – М., 2013. – С. 56-57.

3. *Белов В.С.* Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения. – М., 2004. – 116 с.

9.2. Анализ механизма управления в совершенствовании технологических комплексов при конструировании и производстве информационно-измерительной техники

Д.В. Панов

Проанализируем обобщенную модель управления на основе ситуационного подхода.

Определим цели управления, взаимные связи, методы реализации оптимальных путей, качество управления [1-6].

Введем систему понятий, позволяющую структурировать поведение и функциональную деятельность информационно-измерительного технологического объекта (ИИТО) управления как последовательность реализуемых методических процессов и процедур с реализацией в этих процедурах ресурсов и достигнутых результатов с учетом жесткой увязки и согласованием с этими процессами соответствующих параметров исследуемой продукции, ресурсов, временных параметров, циклов производственных, экономических затрат, инженерно-технологического обслуживания, отображения информации и т. д.

Рассмотрим несколько моделей (модели агрегата, технологического процесса, структуры технологических процессов производства, математического аппарата управления процессами и производством), обуславливающих имитацию рассматриваемой или исследуемой схемы поведения структуры исследуемой технологии (технологической сети). В этих моделях, процедурах, жизненных циклах достаточно измеряемой информации для контроля и управления инженерно-технологическим объектом.

Известно, что любой технологический процесс представляет набор компонентов:

$$TP_j = \langle A_j, R_j, MS_j, M\Phi_j \rangle, \quad (1)$$

где $A_j \in A$ – подмножество элементов и технологических процессов, обеспечивающих выполнение заданного ИИТ процесса TP_j ;

$R_j \in R$ – подмножество элементов, участвующих в выполнении ИИТ процесса.

Мощность технологической сети представим в виде:

$$|A_j| = |I_N| = m. \quad (2)$$

Пронумеруем элементы ИИТП из A_j в порядке их запуска (настройки) на функционирование в процессе TP_j и расположим их в соответствии с номерами в кортеж

$$KA_j = \langle \alpha_{j1}, \dots, \alpha_{jm} \rangle, \quad (3)$$

определяющий как состав ИИТ средств, так и порядок запуска элементов, механизмов и систем, входящих в процесс

$$\alpha_{j1} \Delta TP_j. \quad (4)$$

Матрица настроек MS_j определяется при формировании процесса TP_j на этапе определения функционирования информационно-технологического процесса. В $MS_j (n, m+1)$ каждый i -й столбец ($i=1- m$) содержит настройки элемента $\alpha_{j1} \Delta TP_j$, расположенного в i -й позиции кортежа KA_j . При этом $MS_j (1, -)$ первая строка – определяет настройку (начало функционирования) процесса; $MS_j (2, -)$ вторая строка – завершение настройки, а остальные – настройки реконфигурации. Не исключено, что в технологическом процессе могут иметь место варианты коррекции структуры потока без прерывания функционирования процесса изготовления продукции.

Матрица функций реализуемости $M\Phi_j (n, m)$ определяется по матрице установок следующим образом: пусть

$$MS_j (k, i) = y_s \in Y_{ji}, \quad (5)$$

это означает, что механизм или аппарат α_{ji} при k -й настройке должен быть переведен в положение $y_s \in Y_{ji}$, тогда $M\Phi_j(k, i) =$

Φ_{ki} – булева функция имеет вид, при которых допустимо использование механизма или аппарата α_{ji} в k -й настройке процесса TP_j . Первую строку $M\Phi_j$ (1, –) обозначим через кортеж реализуемости

$$K\Phi_j = \langle \Phi_{j1}, \Phi_{j2}, \dots, \Phi_{jm} \rangle. \quad (6)$$

Этот кортеж является одной из характеристик процесса TP_j , по нему представляется возможным вычислить функцию реализуемости ИИТП.

В общем случае информативность ИИТП можно записать

$$I = I(S_1, S_2, S_n), \quad (7)$$

где S_i – параметры ИИТП, определяющие данный вид корректировки входной управляемой информации.

Естественно, что параметры реальной системы отклоняются от своих номинальных значений в силу различных причин (сбои, ошибки операторов, падение напряжения и т.д.), что приводит к искажениям входной информации. Введение контроля в процессе ее получения позволяет свести искажения информации к допустимой величине. Таким образом, выбранный процесс содержит в себе элементы, непосредственно участвующие в процессе ввода информации, и элементы, выполняющие вспомогательные функции, предназначенные для измерения, контроля и управления ИПТК.

С учетом внесенных данных и их ввода определяем робастную устойчивость системы управления и проводим ее анализ на основе характеристического полинома. Определяем главные задачи технологии управления сложной системой. Таким образом, СУ ИПТК можно рассматривать как гибкую дискретную систему, описываемую при моделировании дискретными множествами моментов времени и различными значениями параметров. Схему моделирования выбирают на основе анализа и использования экспертных значений целевой функции, структуры объекта управления и ста-

статистических данных, полученных от управления системой на предыдущих этапах работ.

На основе данных о различных ситуациях предлагаем иерархическую модель ИПТК, содержащую концептуальную модель предметной области и экспертную систему со множеством базовых элементов, набором синтаксических правил порождения одних элементов модели другими.

Наиболее важный фактор – использование экспертных систем для автоматического выбора управляющих воздействий. Выработка управляющих воздействий, в которой роль человека при анализе данных прошлого опыта, формировании целевой функции и оценке состояния объекта выполняет экспертная система. Она содержит и обновляет знания об объекте, формирует знания на основе прошлого опыта и приобретенных навыков управления, цели функционирования, статистическую информацию об объекте. Параллельно с этим геоинформационные системы формируют и поставляют информационные данные о географическом расположении объектов, их взаимосвязи и влиянии на технологический процесс. Экспертная система обеспечивает более широкий круг знаний и решение задач, так как ее обслуживает большое число экспертов и в ней содержится громадный опыт в виде информации специалистов и экспертов.

Для реализации управления необходимо разработать и внедрить пакеты прикладных программ математического моделирования сложнейших процессов, автоматизированного проектирования конструктивных элементов, конструкций и различных исполнительных приборов, подверженных разнообразным воздействиям внешней среды.

Для количественной характеристики алгоритмов управления необходимо вводить параметры, характеризующие качество этих алгоритмов. Следует определить принципы и способы построения параметров алгоритмов для любого уровня организации системы по известным параметрам атомарных алгоритмов.

При задании критерия качества требуется выбор алгоритма из одного класса эквивалентности на основе анализа показателей качества. Функция определения качества управления имеет вид:

$$W = F(K, K_{зад}), \quad (8)$$

где $K_{зад}$ – множество параметров целеполагания, задаваемое вышестоящим органом управления;

K – множество тех же параметров, фактически вырабатываемых экспертной системой.

Необходимо вводить информационный критерий качества алгоритма проектирования. После этого разрабатывают событийную модель структуры и функционирования технологических процессов. Она необходима для моделирования процессов, ремонта и обслуживания оборудования и учета (косвенного) функционирования неавтоматизированного оборудования. Все это обеспечивает использование событийного моделирования и делает АСУ ТП прозрачной для смежных систем управления производством. Затем определяют схему взаимодействия компонентов событийной модели, а также формирования команд управления на основе вычисления отклонения текущего состояния сети от требуемого процессом.

Характеристический полином системы имеет вид:

$$G(S) = kP(S) + Q(S) \prod_{i=1}^m [(1 + T_i)(S)], \quad (9)$$

где $k \geq 0$ – коэффициент передачи;

$P(S), Q(S)$ – известные полиномы, описывающие регулятор;

T_1, \dots, T_m – постоянные времени, принадлежащие заданным отрезкам

$$\alpha_i \leq T_i \leq \beta_i \quad (i=1, \dots, m), \quad (10)$$

здесь $\alpha_i b_i$ – константы, определяющие T_i .

Коэффициент k либо задан точно, либо имеет нечеткое описание, т.е. принадлежит отрезку $[0, k]$, где $k \geq 0$. Все полиномы (8), удовлетворяющие условиям (9), будем считать доступными.

Достаточное условие робастной устойчивости системы, описываемой семейством полиномов, полилинейно зависящих от параметров, для задач анализа системы управления формулируется следующим образом. Условно возьмем какую-либо вершину V многомерного параллелепипеда:

$$T_i = \alpha_i, i \in A, T_k = b_k, k \in B, W = A \cup B, \quad (11)$$

где A, B – непересекающиеся множества.

Зная, что $S = j\omega$, вычислим $G(j\omega, V)$, значение $G(j\omega)$ для такого набора T_i и возьмем для каждого ω .

$$G(\omega) = \text{co}\{G(j\omega, V), V \in U\}, \quad (12)$$

где V – множество всех вершин параллелепипеда;
 co означает выпуклую оболочку.

Теорема Заде и Дезоера утверждает, что если какой-либо допустимый полином гурвицем и $0 \in G(\omega)$ для всех $0 \leq \omega \leq \infty$, семейства (8), (9) робастно устойчивы. Однако число вершин $V = 2m$, поэтому такой способ весьма трудоемок для больших m .

В этой связи рассматривают возможности и свойства элементарных многоэкстремальных функций. Исходным классом для их конструирования выберем класс функций ψ – положительных, бесконечно дифференцируемых, четных, имеющих максимум лишь в нуле (равный единице), лишь два нуля второй производной и интегрируемой с квадратом на всей вещественной оси.

На основе функций $\psi \in \Psi$ можно получить два вида наиболее простых многоэкстремальных функций:

$$C["; x] = c \sum_{\downarrow} (n = -\infty)^{\uparrow} (+\infty) [(1)]^{\uparrow} n([\beta(x - n\pi)]); \quad (13)$$

$$C["; x] = c \sum_{\downarrow} (n = -\infty)^{\uparrow} (+\infty) [(1)]^{\uparrow} n([\beta(x - \pi / 2 - n\pi)]); \quad (14)$$

где константу c найдем из выражения

$$c = C[(; 0] = \left[\sum_{n=-\infty}^{+\infty} (1)^n ((\beta n\pi)) \right]^{-1}. \quad (15)$$

Выводы

При конструировании и производстве систем информационно-измерительной техники для технологического обеспечения сборочного и других видов производств целесообразно использовать событийную модель структуры и функционирования технологических процессов, содержащую концептуальную модель предметной области и экспертную систему с множеством базовых элементов, набором синтаксических правил порождения одних элементов концептуальной модели предметной области другими.

Такой подход позволяет повысить эффективность систем автоматического управления производственно-технологическими комплексами контрольно-измерительного оборудования, обеспечивающего функционирование сборочных производств различных отраслей промышленности.

Литература

1. *Гориши А.В., Дмитриенко А.Г., Панов Д.В., Пономарев С.А.* Научные и организационные основы проведения НИОКР отраслевым НИИ. – М.: Изд-во Московского государственного университета леса, 2013. – 244 с.
2. *Юрков Н.К.* Информационная модель принятия решения управления сложными системами // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество – 2000». – Пенза: Изд-во «Пензенский государственный технический университет», 2013.
3. *Гориши А.В., Панов Д.В., Рубцов И.С.* и др. Основные проблемы проектирования информационно-измерительной датчиковой аппаратуры. ГУ Российская академия ракетных и артиллерийских наук // Журнал «Технические средства противодействия терроризму». Труды XVI Всероссийской НПК. – 2013. – Т. 2. – С. 371.
4. *Гориши А.В., Панов Д.В., Пивкин А.Г., Рубцов И.С.* Исследование погрешностей ВОД давления аттенуаторного типа // Вопросы обороны и техники. Технические средства противодействия терроризму. Серия 16. Вып. 9-10. – М., 2013. – С. 35.
5. *Муртазян Д.А., Ножков В.В., Панов Д.В., Паначев И.С., Рубцов И.С.* Основные подходы в разработке технологий интеллектуализации СУ бортовыми робототехническими средствами КА ДЗЗ Земли // Космонавтика и ракетостроение. – М.: Изд-во ЦНИИмаш, 2013. – Вып. 4(73).
6. *Гориши А.В., Панов Д.В.* Организационная структура управления предприятием // Сборник трудов «Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения». – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 236-243.
7. *Панов Д.В., Чапоргин В.С.* Перспективы развития метрологического обеспечения космической промышленности // Материалы НТК «Метрологическое обеспечение испытаний и измерений в авиационно-космической промышленности». – М.: Изд-во ЦВК «Экспоцентр», 2013.
8. *Панов Д.В., Чапоргин В.С.* Состояние и перспективы развития системы метрологического обеспечения космической промышленности // Мир измерений. – 2013. – № 4.

9.3. Научно-методические основы создания перспективной системы мониторинга состояния метрологического обеспечения производства ракетно-космической техники

Д.В. Панов, П.М. Поморцев, Е.Ю. Миненко

Повышение роли и масштаба измерений в процессах производства ракетно-космической техники (РКТ) требует комплексного развития и совершенствования системы обеспечения единства измерений, представляющей собой целостную совокупность средств, исполнителей и объектов метрологического обеспечения, взаимодействующих по установленным правилам в целях достижения требуемой точности, полноты и своевременности проводимых измерений, а также достоверности контроля параметров и характеристик изделий РКТ. Можно утверждать, что система метрологического обеспечения является необходимым условием для качественного решения задач производства РКТ.

Одним из направлений совершенствования метрологического обеспечения производства РКТ является разработка и внедрение систем мониторинга, основанных на автоматизированных технологиях, обеспечивающих хранение, обработку, анализ и использование данных для решения задач метрологического обеспечения РКТ, включая определение рациональных условий функционирования системы метрологического обеспечения, формирования планов ее функционирования и развития.

Однако в настоящее время функции мониторинга выполняются лишь частично. Анализ показывает, что наиболее часто реализуемой является функция контроля состояния системы, между тем как вопросы аналитической обработки данных, выявления различного рода нестандартных, нестандартных ситуаций, прогноза состояния системы, ее влияния на

качество выпускаемой продукции остаются не востребова-
ными.

Одним из наиболее перспективных направлений обеспечения требуемого качества мониторинга является создание систем мониторинга метрологического обеспечения на базе новых информационных технологий, позволяющих решать задачи мониторинга в полном объеме и с требуемым качеством при рациональных затратах.

Анализ показывает, что на основе новых информационных технологий можно решать не только частные задачи автоматизации и традиционные задачи контроля состояния, но и задачи идентификации, выявления скрытых закономерностей функционирования системы, прогноза ее функционирования, оценки возможных рисков, что в целом позволяет осуществить синтез перспективной системы мониторинга метрологического обеспечения на основе новых информационных технологий.

Теоретической предпосылкой для разрешения данной проблемы может служить переход к концепции информационно-системной безопасности, реализуемой на основе теории ультрасистем. Данная концепция позволяет обеспечить устойчивое решение задач мониторинга в условиях обработки разнородной информации, как объективной, формализованную в виде измерений, так и субъективной в виде опыта и интуиции специалистов, выраженной на естественном языке, а также устранить последствия возникновения неопределенностей различной природы. К числу новых информационных технологий будем относить нейронные сети, системы нечеткого условного вывода, генетические алгоритмы и ряд других.

Разрешение сформулированной проблемы предполагает создание совокупности принципов построения системы, задание показателей качества мониторинга и разработку методов мониторинга, позволяющих осуществлять регулярный синтез технологий мониторинга метрологического обеспече-

ния с учетом характера решаемых задач, качества измерительной информации, требований по качеству мониторинга.

В целях обоснования облика перспективной системы мониторинга состояния метрологического обеспечения предполагается решение ряда актуальных задач:

- обоснование основных принципов, показателей и критериев качества мониторинга метрологического обеспечения на основании системного анализа состояния метрологического обеспечения предприятий ракетно-космической промышленности;

- разработка научно-методологических основ создания системы мониторинга метрологического обеспечения предприятий ракетно-космической промышленности на основе ультрасистем и методов мониторинга для анализа состояния метрологического обеспечения, прогноза на перспективу и выработки управляющих решений и др.

Результаты решения данных задач позволят создать необходимый инструментарий для обоснования облика перспективной системы мониторинга состояния метрологического обеспечения на основе обоснованных принципов, показателей и критериев качества мониторинга метрологического обеспечения.

Практическая значимость проводимых исследований заключается в предоставлении необходимых возможностей разработки отраслевой информационно-аналитической системы обеспечения единства измерений на предприятиях ракетно-космической промышленности в области метрологического обеспечения производства объектов РКТ.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4	
Введение	6	
I. РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В РАЗВИТИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В МИРЕ		
<i>(Гориш А.В., Панов Д.В., Рубцов И.С., Миненко Е.Ю.)</i>	43	
1.1. Роль Геттингенского университета в мировой деятельности физиков	45	
1.2. Альберт Эйнштейн и его роль в создании атомной бомбы	46	
1.3. Работы по созданию атомной бомбы в СССР	48	
1.4. Роль Минобщемаша в развитии РТИИТ	51	
1.5. Роль НПО измерительной техники в создании и развитии РТИИТ в микроэлектронном исполнении	55	
1.6. Роль первого министра ракетно-космической отрасли в создании и развитии микроэлектроники	57	
II. ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РКТ <i>(Гориш А.В., Панов Д.В., Пономарев С.А., Победоносцев В.А., Рубцов И.С.)</i>		63
2.1. Основные задачи, решаемые телеметрическими информационно-измерительными системами (ТИИС) <i>(Победоносцев В.А.)</i>	68	
2.2. Наземные средства полигонного измерительного комплекса (ПИК) и тенденции их развития <i>(Победоносцев В.А.)</i>	69	
2.3. Средства и алгоритмы анализа, обработки и представления данных телеизмерений, математическое обеспечение <i>(Победоносцев В.А.)</i>	71	
2.4. Использование спутников ретрансляторов (СР) при проведении испытаний <i>(Победоносцев В.А.)</i>	72	
2.5. Основные показатели сравнимости радиотелеметрических систем <i>(Гориш А.В., Победоносцев В.А.)</i>	73	
2.6. Трудности сравнения и классификации систем по эффективности <i>(Победоносцев В.А.)</i>	74	
2.7. Примеры вынужденного выбора по одному показателю и другие вынужденные отступления от оптимальности принимаемых решений <i>(Победоносцев В.А.)</i>	75	
III. ДАТЧИКОВАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РКТ		83
3.1. Основные направления датчиков физических параметров для ракетно-космической техники <i>(Гориш А.В., Панов Д.В., Рубцов И.С.)</i>	83	

3.2. Основные принципы проектирования магнитомеров (Гориш А.В., Рубцов И.С.)	97
3.3. Основные тенденции совершенствования датчиковой аппаратуры (Гориш А.В., Рубцов И.С.)	98
3.4. Проблемы материалов, применяемых в датчиковом приборостроении (Рубцов И.С.)	103
3.5. Основные требования, предъявляемые к датчикам физических параметров для изделий РКТ (Рубцов И.С.)	108
IV. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ИЗДЕЛИЙ РКТ И ДРУГИХ ВИДОВ ТЕХНИКИ (Дмитриенко А.Г., Блинов А.В., Ефремов Е.В.)	113
V. БОРТОВЫЕ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	124
5.1. Особенности построения двухдиапазонной бортовой аппаратуры командно-измерительной системы для управления космическим аппаратом на этапе его вывода на ГСО (Алыбин В.Г., Булгаков Н.Н., Кривошеин А.А.)	124
5.2. Программная интеграция функций дешифратора командно-программной информации и блока обработки телеметрии бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в одной ПЛИС (Воронков Е.А., Алыбин В.Г., Дёмкин К.В.)	134
5.3. Многоканальное аппаратно-программное устройство регистрации цифрового потока (Бекренев О.В., Домрачев С.Ю., Табенков А.В.)	144
5.4. Синтез отказоустойчивых систем интегральной модульной авионики (ИМА) (Авакян А.А.)	150
VI. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ДАТЧИКОВАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ РКТ И ДРУГОЙ ТЕХНИКИ	166
6.1. Внедрение волоконно-оптических средств измерений на летательных аппаратах – качественный скачок отечественной информационно-измерительной техники (Гориш А.В., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Рубцов И.С.)	166
6.2. Волоконно-оптический датчик электрического тока для инженерно-технических объектов (Бурков В.Д., Демин А.Н.)	174
6.3. Волоконно-оптический датчик для измерения аэродинамических углов (Мурашкина Т.И., Рубцов И.С.)	184
6.4. Технологические основы проектирования волоконно-оптических датчиков давления для искро-, взрыво-, пожароопасных инженерно-технических объектов (Мурашкина Т.И., Рубцов И.С.)	190

6.5. Система мониторинга аналоговых сигналов датчиков расходов (ДР) и датчиков оборотов (ДО) в реальном времени с регистрацией и последующей бесконтактной калибровкой каналов измерения ДР и ДО в ИИС, ИУС и САЗ при отработках ЖРД и их агрегатов (Краско В.Я.)	211
6.6. Оценка возможных погрешностей волоконно-оптических датчиков давления аттенуаторного типа (Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Рубцов И.С.)	216
VII. ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ И СХЕМЫ ИХ ФИНАНСИРОВАНИЯ	
(Чебаненко В.М.)	233
7.1. Понятие «инновация»	233
7.2. Источники и схемы финансирования инновационных проектов	248
VIII. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И РЕШЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РКТ (Гориш А.В., Панич А.Е., Свирская С.Н., Яннич В.В.)	262
8.1. Физические основы функционирования пьезоэлектрических датчиков	262
8.2. Основные технические характеристики датчиков	273
8.3. Перспективы развития пьезоэлектрических датчиков механических величин для РКТ и других отраслей	282
8.4. Погрешности в измерительных цепях пьезоэлектрических датчиков (Гориш А.В., Рубцов И.С.)	294
IX. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В НАПРАВЛЕНИЯХ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИИ	301
9.1. Информатизация процессов метрологического обеспечения производства ракетно-космической техники (Краснобабцев Ф.Ф., Панов Д.В., Поморцев П.М., Рубцов И.С.)	301
9.2. Анализ механизма управления в совершенствовании технологических комплексов при конструировании и производстве информационно-измерительной техники (Панов Д.В.)	308
9.3. Научно-методические основы создания перспективной системы мониторинга состояния метрологического обеспечения производства ракетно-космической техники (Панов Д.В., Поморцев П.М., Миненко Е.Ю.)	316

ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**СБОРНИК ТРУДОВ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Королёв, Московская обл.

18-22 ноября 2013 г.

Редактор *Ж.В. Медведева*
Технический редактор *Н.А. Ясько*
Компьютерная верстка *М.Н. Заикина*
Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Подписано в печать 26.12.14 г. Формат 60×84/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20,25. Тираж 500 экз. Заказ 1651

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. (495) 952-04-41

Для заметок
