

В.А.Ацюковский, Г.Ф.Сойников

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В АВИАЦИОННОМ ОБОРУДОВАНИИ

*Борьба нового с новым
и совершенного с новым*

научно-техническая повесть

**МОСКВА
2014 г.**

В.А.Ацюковский, Г.Ф.Сойников

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ИНТЕРФЕЙС
В АВИАЦИОННОМ
ОБОРУДОВАНИИ**

*Борьба нового с новым
и совершенного с новым*

научно-техническая повесть

**МОСКВА
2014 г.**

ББК 32.81

0-71

УДК 629.7.054

В.А.Ацюковский, Г.Ф.Сойников. Информационный интерфейс в авиационном оборудовании. Борьба нового с новым и совершенного с новым. **М.: «Галлея-Принт», 2014. — 48 с.**

В книге:

- изложены принципы построения каналов проводных связей для помехоустойчивой передачи аналоговой и цифровой информации в сложных информационно-измерительных комплексах и системах управления объектами.

- показана борьба за технически эффективный информационный интерфейс в отечественной и зарубежной авиации.

Для инженеров и научных работников, работающих в области проектирования и отладки сложных управляющих и технологических систем.

Авторы;

Ацюковский Владимир Акимович,

Сойников Герман Федорович

ISBN

© Авторы

Оглавление	Стр.
Предисловие.....	4
Введение.....	5
Глава 1. Аналоговый интерфейс.....	9
1.1 Аналоговые каналы связи	9
1.2. Внедрение СКТ и комплексы аппаратуры.....	13
Глава 2. Цифровой интерфейс.....	19
2.1 Информационное содержание сигналов.....	19
2.1.1 Единица информации	19
2.1.2. Информационное содержание сигналов в информационно-измерительных комплексах.....	20
2.1.3. Пропускная способность проводных линий связи	21
2.1.4.Обеспечение помехоустойчивости информации в проводных связях.....	22
2.2.Цифровой интерфейс и комплексы аппаратуры.....	28
Глава 3. Современное состояние цифрового интерфейса и интеграция систем.....	44
3.1 Современное состояние цифрового интерфейса (2001-2014гг.)	44
3.2. Процесс интеграции в авиационном оборудовании.....	46

Предисловие

В течение почти 50 лет в отечественной авиационной промышленности идёт жёсткая борьба между разработчиками различных типов системы связи аппаратуры – информационного интерфейса, в основном между двумя направлениями:

- одной из отечественных разработок и
- «как в Америке».

Настоящая работа посвящается коллективам инженеров различных институтов, предприятий и ВЧ, разработавших и отладивших на самолётах и вертолётах лучший тип информационного интерфейса для аналогового и цифрового авиационного оборудования, принятый во всём авиационном мире.

Авторы благодарны авторам документов, особенно корпорации ARINC и комитету АЕЕС, некоторые данные из документов которых необходимо было принять и включить в настоящую книгу для создания полной картины борьбы за единый технически совершенный информационный интерфейс для авиационного оборудования, борьба за который снова разгорелась и, вероятно, будет происходить всегда.

В книге представлена борьба за определённый тип интерфейса, и знание об этом может быть интересно и полезно для инженеров в различных областях техники.

Авторы приносят извинения за возможные неточности в изложении материала. При получении замечаний соответствующие изменения будут внесены в следующую редакцию.

Введение

В развитии бортового оборудования (БО) летательных аппаратов (ЛА) существенную роль играет развитие техники передачи/приёма информации (электрических сигналов) получившее название «информационный интерфейс» где-то в середине 70 годов.

В процессе этого развития происходила и происходит жёсткая борьба не только нового со старым, но, в основном, нового с новым, или, что почти незаметно, нового с совершенным. Возможно, что и в других областях техники борьба нового с новым является основным процессом развития.

В 60 годах прошлого столетия возникла проблема обеспечения взаимодействия аналоговой и цифровой аппаратуры. Существовало большое количество публикаций в зарубежной и отечественной технической литературе, а также несколько конкурирующих разработок соединения аналоговой аппаратуры с цифровой вычислительной машиной (ЦВМ). Появились индукционные, ламельные, оптические датчики кода. Но в процессе разработки аппаратуры как в отечественной авиационной промышленности, так и в зарубежной было найдено эффективное техническое решение, обеспечивающее взаимодействие аналоговой аппаратуры с аналоговой же аппаратурой и аналоговой аппаратуры с ЦВМ.

Следующей проблемой в развитии интерфейса стал переход от аналоговой к полностью цифровой аппаратуре. Вновь появилось несколько вариантов, при этом очень жёсткая борьба развернулась между инженерами-разработчиками технически эффективного типа интерфейса, учитывающего некоторые зарубежные предложения, и абсолютными приверженцами сначала одного зарубежного варианта, затем другого.

При разработке нормативной документации ГОСТ-18977-73, РТМ-1495-75 и ГОСТ-18977-79 некоторые представители институтов и предприятий требовали для отечественного оборудования фактически **точной** копии американских документов, как бы определяющих направление технического развития во всём Мире.

Если совершенствование аналогового интерфейса шло приблизительно одинаково в гражданской и военной авиации всех стран, т.е для обеспечения взаимодействия аппаратуры везде использова-

лись однотипные сигналы, то при переходе на цифровую технику в США (а затем и в Западной Европе) произошло разделение на два типа интерфейса для аппаратуры, выполняющей одни и те же функции:

- для транспортной авиации – интерфейс аппаратуры в соответствии с спецификацией ARINC-419, затем ARINC-429 (далее обозначение документов А-429 и т.п.),

- для военной авиации – интерфейс в соответствии с MIL STD - 1553 (далее М-1553) затем М-1553В (MIL STD – Military Standard).

Это два совершенно разных варианта интерфейса не только по технике выполнения, но главное по цели применения:

- в спецификации А-429 (1977 г.) корпорации ARINC, аналогично ГОСТ-18977-73 (1973 г.) и РТМ-1495-75 (1975 г.), главное - **однозначно** нормировались все характеристики интерфейса **конкретной** аппаратуры, в связи с чем обеспечивались взаимодействие и взаимозаменяемость аппаратуры на всех ЛА транспортной авиации **ряда стран**, что и было главной целью применения интерфейса, а следовательно и спецификации.

В стандарте М-1553 нормировалось **незначительное** количество характеристик интерфейса **без привязки** к конкретной аппаратуре, а в литературе сообщалось, что при использовании мультиплексного канала на бомбардировщике В1 масса проводов сокращается на несколько **сот** килограмм, что было «главным козырем» всех последователей стандарта М-1553.

Из сравнительного анализа массы проводов радиальной цифровой сети и двух каналов мультиплексной сети **обязательно** для одного и того же количества аппаратуры следовало, что в связи с применением в мультиплексной сети специального кабеля, удельная масса которого в 3-5 раз больше массы витой пары в экране, наличия специальных ответвителей и необходимость в специальных контроллерах, масса мультиплексной сети больше массы радиальной сети.

Принципиальным недостатком интерфейса типа М-1553, в общем неприемлемым для авиационного оборудования, обеспечивающего безопасность полёта, является наличие центрального контроллера – командира-дирижёра между датчиком информации и приёмником (между системами измеряющими параметры полёта: высоту, скорость, крен, тангаж, курс и т.п. и индикаторами пара-

метров полёта для экипажа, системой автоматического управления, вычислителями и т.п.). контроллер с определённой периодичностью командует датчикам - выдать информацию.

Необходимо отметить важную роль корпорации ARINC (Aeronautical Radio, Inc.) в развитии бортового интерфейса. Корпорация создана в 1929 году, первоначально в основном для распределения частот радиосвязи, что частично отражено в названии, затем одним из главных направлений работы корпорации стало организация и выпуск «трёх классов стандартов»: Характеристики ARINC, Спецификации ARINC, Доклады ARINC.

Комитет AEEC (Airlines Electronic Engineering Committee) и другие организации (AMC, FSEMC) подготавливают материалы, которые затем публикуются корпорацией ARINC.

В спецификациях ARINC обязательно сообщается, например, в разделе DISCLAIMER (отказ, отречение), что этот документ не устанавливает или предписывает требования к оборудованию и его применение не накладывает каких-либо обязательств на корпорацию.

Примечание: Применение в переводных материалах термина *«стандарт»*, а так же непосредственно в спецификациях корпорации ARINC, (в вводной части спецификаций встречается слово «standard») *не корректно*. Целесообразно использовать термин «спецификация» в значении «рекомендация». Кстати, в отечественной нормативной документации есть понятия «Стандарт» и «Руководящий технический материал» (РТМ).

Технические характеристики интерфейса в соответствии с требованиями М-1553 в том или ином варианте появлялись в разных журналах и послужили материалом для разработки стандарта (ориентировочно в начале 80 годов.) на мультимплексный канал передачи данных для отечественных военных ЛА.

В одной из последних (2003г.) редакций документа дано определение - «магистральный последовательный интерфейс (мультимплексный канал передачи данных)».

Попытка со стороны инженеров-разработчиков аналога М-1553 представить разработку этого документа как перспективную и **единственную** для военных ЛА, а ГОСТ и РТМ, применяющихся для оборудования **всех** военных ЛА, как устаревшие документы, привела к противостоянию и конфликтам, а главное к разделе-

нию оборудования по интерфейсу не только между транспортной и военной авиацией, но и в военной авиации - между оборудованием на существующих самолётах и отдельными новыми разработками, соответствующими аналогу М-1553.

В некоторых институтах, организациях, предприятиях различных министерств и ВЧ, имеющих отношение к авиации, существовало две группы инженеров, для одной главное – техническая эффективность и единство интерфейса, для другой - обязательно «как в Америке».

Жёсткая приверженность к зарубежным типам интерфейса у некоторых разработчиков продемонстрирована в материалах салонов МАКС. В рекламном проспекте для отечественного оборудования транспортного самолёта перечислены 4 спецификации корпорации ARINC для разных типов интерфейса и MIL-1553B. Отечественные ГОСТ и РТМ в перечне отсутствуют.

В 2000 годах появился фонтан новых спецификаций корпорации ARINC для бортового интерфейса. В них указано недостаточное количество характеристик для разработки интерфейса, и характеристики имеют большое количество вариантов, как в свое время в А-419, исключённой введением спецификации А-429.

Обеспечить взаимодействие аппаратуры без многочисленных переключателей, мостов, переходных преобразователей и т.п. невозможно, при применении нескольких типов интерфейса на одном борту.

В процессе совершенствования и разработки интерфейса возникло много вариантов, предлагаемых отдельными институтами и предприятиями, но как в отечественной так и в зарубежной транспортной авиации неизменно происходил переход к **единому однозначному интерфейсу для аппаратуры всего борта**, и, особенно важно подчеркнуть, что к единому интерфейсу **во всех странах**, разрабатывающих аппаратуру для **транспортной авиации**. Конечно, есть отклонения, но они несущественны.

Глава 1 Аналоговый интерфейс

1.1 Аналоговые каналы связи

В 50-60 годах прошлого века оборудование конкретного самолёта и вертолёта представляло **набор** функционально замкнутой аппаратуры – системы со своими пультами и индикаторами, блоки, выполняющие конкретную функцию и т.п.

Системы разрабатывались как отдельные устройства без согласования с разработчиками других систем, которые на ЛА получали или передавали информацию в данную систему. В связи с этим системы-датчики имели выходные элементы, традиционные для предприятия разработчика, например, система воздушных сигналов (СВС) имела на выходе потенциометры, гировертикаль - сельсины, высотомер (РВ) – усилитель постоянного тока. Даже когда блок в системе работал со «своими» пультами и индикаторами, возникали проблемы стыковки аппаратуры внутри системы при разработке блоков разными предприятиями, например, блок разработки одного предприятия выдавал значение угла с привязкой к нулевому положению ротора и статора датчика угла, а другое предприятие - со сдвигом на несколько градусов, в связи с чем при использовании блока разработки одного предприятия в аналогичной системе разработки другого предприятия возникала «большая головная боль». В целях обеспечения взаимодействия систем с различными датчиками для конкретных ЛА разрабатывались блоки коммутации, например, БК НК – блок коммутации навигационного комплекса (рис. 1.1), в котором устанавливались устройства обеспечивающие функции:

- размножение сигналов,
- соединение систем с различными типами датчиков и приёмников.

Функция размножения сигналов была вызвана тем, что широко распространённые элементы типа сельсинов и потенциометров имели ограниченную нагрузочную способность – не более 2-3 приёмников, в то время как потребителей информации в ряде случаев было более 20-ти. Для обеспечения размножения сигналов применялись специальные устройства – следящие системы массой 1-2 кг, несколько штук в составе БК НК.

Иногда размножение сигналов производилось непосредственно в блоке измерительной системы, например, в системе СВС для выдачи параметров высоты устанавливалось 5 потенциометров. При этом для одного типа самолётов устанавливалось 2 потенциометра для выдачи относительной высоты и 3 - для абсолютной, а для другого типа самолётов в аналогичном блоке того же разработчика СВС устанавливалось 2 потенциометра для абсолютной высоты и 3 – для относительной, в связи с чем в эксплуатации иногда возникали недоразумения.

В одном из московских институтов разрабатывался датчик «фау-код», а затем разработка была заменена на датчик «V-код». В одном из ленинградских институтов был разработан индукционный датчик кода. Предприятия стремились устанавливать в «своей» аппаратуре датчики и приёмники своей разработки, отвергая лучшие разработки других предприятий.

Функция соединения систем с различными типами датчиков и приёмников также обеспечивалась с помощью следящих систем и получила широкое распространение при введении на борт навигационного вычислителя, на входе которого невозможно было установить приёмники для всего разнообразия выходных элементов в системах-датчиках, и с помощью нескольких следящих систем можно было свести это разнообразие к 2-3 типам.

Наличие разнотипных датчиков и переходных блоков сильно затрудняло работу на самолёте при отладке оборудования и отыскании места неисправности.

Как в отечественной, так и в зарубежной промышленности разрабатывалось большое количество датчиков-преобразователей углового положения вала в код - «вал код»: индукционные, оптические, ламельные и т.п.

Положение принципиально изменилось к концу 60 годов. Инженерами одного из московских заводов были разработаны новые датчики и приёмники – синусно - косинусные трансформаторы (СКТ).

Применение датчика СКТ вместо сельсинов и потенциометров и разработка преобразователей «напряжение СКТ-код» в составе цифровой вычислительно машины (ЦВМ) позволило исключить блоки коммутации (рис. 1.2).

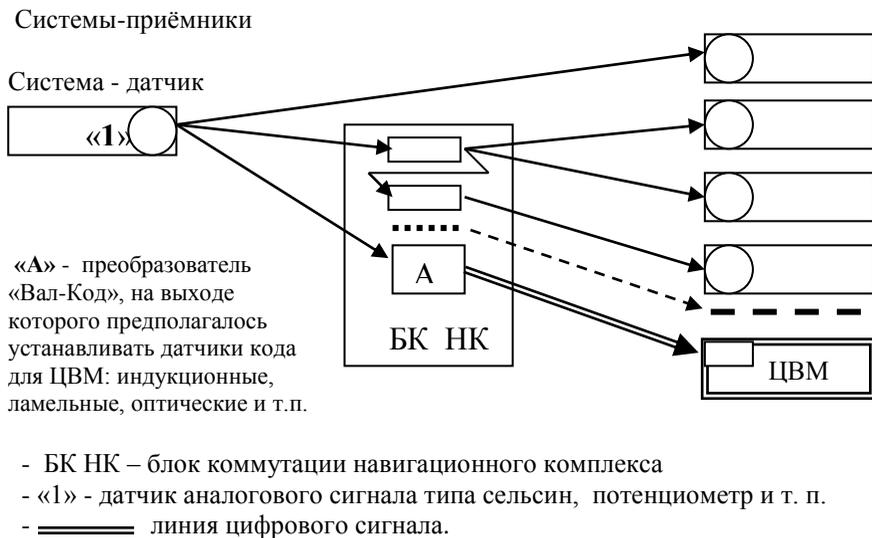


Рис. 1.1. Соединение аппаратуры 60-х годов

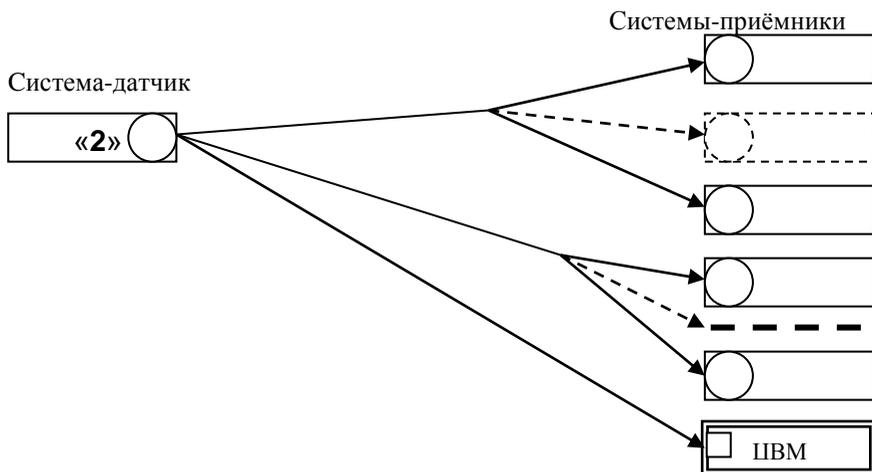


Рис. 1.2. Соединение аппаратуры 70-х годов

Среди различных разработок выделялась высокой технической эффективностью изобретение инженера ленинградского предприятия – преобразование сигнала СКТ в код в устройстве ввода ЦВМ. Вариант **отсутствовал** в отечественной и зарубежной технической и патентной литературе.

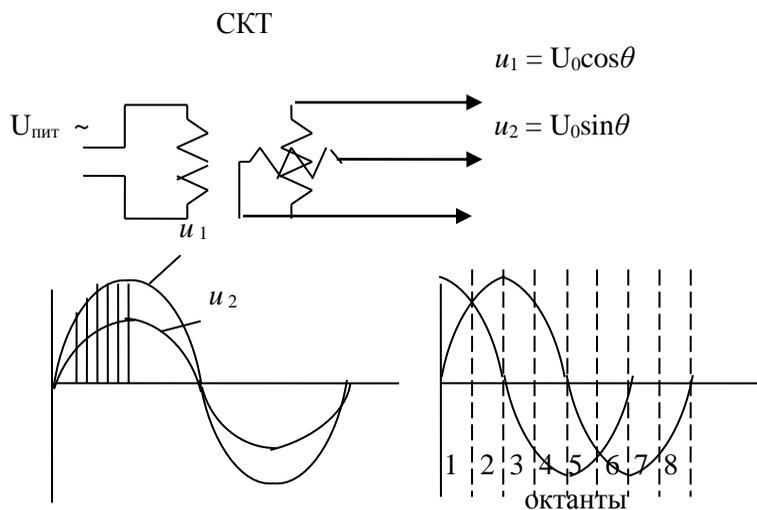


Рис. 1.3. Преобразование угла поворота вала в код с помощью СКТ по принципу амплитудного уравнивания: СКТ – синусно-косинусный трансформатор;

Схема передачи информации с применением СКТ показана на рис.1.3.

Только в середине 70 годов при разработке навигационного оборудования совместно с французской фирмой оказалось, что за рубежом используется именно такое техническое решение, причём французский вариант по критерию погрешность преобразования сигналов СКТ-датчика в код несколько уступал отечественной разработке.

Технические характеристики СКТ существенно превосходили характеристики серийных сельсинов и потенциометров:

- высокая нагрузочная способность датчика – до 20 приёмников типа СКТ и более если приёмники имели высокоомный вход ($> 40 \text{ кОм}$), тогда как к сельсину или потенциометру можно было непосредственно подключить только 2-3 приёмника;

- устойчивость к короткому замыканию выходных линий (после устранения замыкания работоспособность восстанавливалась),

- меньшая (в 2-4 раза) погрешность передачи параметра по сравнению с сельсинами и потенциометрами,

- габариты некоторых датчиков совпадали с габаритами применяемых сельсинов, что позволяло модернизировать аппаратуру, заменой сельсинов на СКТ,

- **главное же** - аналоговый датчик СКТ использовался для непосредственной передачи сигнала в цифровую вычислительную машину, в блоке которой устанавливался преобразователь аналоговых сигналов СКТ в код.

1.2. Внедрение СКТ и комплексы аппаратуры

Внедрение СКТ проходило с определёнными трудностями и неприятием со стороны приверженцев сельсинов. На очень «узких» совещаниях «болельщик» за сельсины в присутствии тех, кто способствовал переходу на СКТ полусуто говорил что-то вроде: «Верёвка плачет по тем, кто старается ввести СКТ».

В связи с тем, что аппаратура разрабатывалась как отдельные устройства большое количество разработчиков, в частности разработчики гироскопических систем, считали, что аппаратура должна разрабатываться с традиционными датчиками, а на борту должны устанавливаться блоки коммутации для связи с системами, применяющими СКТ или с цифровыми системами.

Это направление разработки оборудования стало почти официальным. Инженеров из ЛИИ пригласили в МАП (министерство авиационной промышленности) для обсуждения проблемы разработки блоков коммутации для нового оборудования. Сотрудников министерства интересовало какие типы БК необходимо разрабатывать, возможная надёжность, масса, и т.п., а инженеры ЛИИ настаивали: никаких БК не должно быть в новом или модернизи-

руемом оборудовании. После полуторачасового обсуждения всех пригласили на совещание. Доклад делал Министр авиационной промышленности. В докладе проскользнула фраза типа: «А если понадобится десяток блоков размножения сигналов это не составит проблемы». Стало понятным, кто участвовал в подготовке доклада.

В городе Свердловске (сейчас город Екатеринбург) в гостинице «Большой Урал» состоялась Всесоюзная конференция, посвященная элементам – датчикам и приёмникам сигналов. Элементы, разрабатываемые в Стране, были помещены в стеллаже, имеющем около 60 ячеек. В трёх ячейках были представлены СКТ. В докладе представителя ЛИИ было подчёркнуто, что на самолётах и вертолётах будут применяться только эти элементы, как обеспечивающие высокую точность передачи сигнала, высокую нагрузочную способность, а главное, обеспечивающие взаимодействие аналоговой и цифровой аппаратуры без промежуточных устройств. Заявление встретило отрицательную реакцию зала, но после совещания 2 человека заинтересовались решением в авиационной промышленности.

Несмотря на высокоэффективное техническое решение аналогового типа интерфейса предприятиями других министерств предлагались менее эффективные решения в связи с чем стала очевидной необходимость разработки Государственного стандарта на интерфейс бортового оборудования, технические характеристики которого уже начали реализовываться в новых комплексных разработках.

В Филиале ЛИИ (лётно-исследовательский институт) был разработан, согласован с предприятиями и институтами проект стандарта и передан в Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации НИИСУ, НИИСУ передал в Госстандарт, и был выпущён ГОСТ-18977-73, нормирующий три типа интерфейса: аналоговый, дискретный и цифровой.

В 1975 году в Англии было решено нормировать аналоговый интерфейс. Английский документ - «ISO/TC 20/SC 1 – Aerospace Electrical Requirements Secretariat United Kingdom (UK)» (Требования к аэрокосмической электрической аппаратуре. Секретариат Соединённого Королевства) через международную организацию

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION) и НИИСУ был передан в ЛИИ.

В английском документе был ряд неточностей, в частности предлагалось коэффициент трансформации (КТ) изделия определять как соотношение витков первичной и вторичной обмоток, что естественно невозможно проверить после изготовления изделия без «размотки» обмоток. В нашем ответе предлагалось определять КТ как соотношение первичного и вторичного напряжений, как это делалось на заводах.

Ответ был разработан на 3 страницах и согласован с рядом предприятий, в том числе с разработчиками СКТ, которые внесли существенные предложения. Сотрудник ЛИИ – представитель в ISO предложил сократить ответ до 1 страницы, исключив все обоснования так как из них следовало, что техническое содержание английского документа не достаточно корректно. Ответ был доработан – оставлены 6 замечаний: изменить редакцию некоторых пунктов английского документа в соответствии с достигнутым уровнем техники и нормами, принятыми в отечественных документах. Соответствующим путём предложения были переданы в Англию.

В ответе из Англии сообщалось, что наши предложения не могут быть приняты в силу отсутствия некой фундаментальности.

Работа с документом была прекращена, так как ещё при согласовании документа представители некоторых предприятий указывали на то, что нормировать аналоговый интерфейс не имеет смысла, так как вся аппаратура летает, или изготавливается на замену. Через некоторое время были получены предложения и замечания представителя США к английскому документу и к предложениям СССР (в США документ ISO попал вместе с предложениями СССР):

Document No ISO/TC 20/SC 1 (USA-24) 140 April 1975
«USA MEMBER BODY COMMENTS ON DOCUMENTS TC 20/SC 1/N94 – 2ND DRAFT PROPOSALS BY UK FOR INTERCONNECTIONS IN ANALOGUE DATA TRANSMISSION SYSTEMS IN AIRCRAFT»

«Комментарии представителя США к документам TC 20/SC 1/N94 – Проект 2ND предложений UK для обеспечения внеш-

них соединений систем передачи данных аналоговыми сигналами на летательном аппарате».

В первых 6 пунктах документа представителя США в том или ином виде выражалось согласие с нашими предложениями:

1. Para. 5.2, 5.3 and NOTES 1 & 2 should be deleted ...

(Предложение практически совпадало с нашей рекомендацией.)

2. Figure 1 should be redrawn to show the synchro types and typical circuits. **In support of the U.S.S.R. comments in ISO/ TC 20/SC1 (USSR 4) 114, We wish to add the view that the document**

(Поддерживая комментарии СССР в ISO/ TC 20/SC1 (USSR, 4) 114, мы хотим присоединиться к позиции этого документа ...)

3. In paragraph 7, reference to the equipment terminal designations lettered ...

Again, our view supports the U.S.S.R. position that this standard be adaptable to any symbolization in any written language...

(Опять мы поддерживаем позицию СССР ...)

4. The above statement also applies to paragraph 8. **The U.S.S.R. suggestion in the second paragraph of item 2 of their comments is commendable.**

(Предложение СССР во второй параграф /второй пункт замечаний/ достойно одобрения).

5. Paragraph 9 should be changed to indicate the systems requirement of the synchro (see comments in paragraph 2 above) (смотри комментарии к параграфу 2 выше).

(Предложение совпадало с нашей рекомендацией.)

6. Paragraph 10 should also be based on the system requirements.

Paragraph 10.1 should be changed to the U.S.S.R. recommendation.

(Параграф 10.1 должен быть изменён в соответствии с рекомендацией СССР).

Далее в американском документе содержатся предложения/замечания к документам западных стран.

Этот документ подтвердил высочайший уровень развития техники аналогового интерфейса в отечественном авиационном оборудовании, который был достигнут благодаря оригинальным разработкам советских инженеров не только без оглядки на зарубежные публикации, но и в борьбе с новыми отечественными и зарубежными разработками, которые различные предприятия пытались реализовать в бортовом оборудовании.

Таким образом, на этапе развития авиационной техники 60-70 годов в авиационной промышленности СССР был выбран оригинальный технически совершенный вариант аналогового интерфейса, обеспечивающего создание комплексов аналоговой аппаратуры с включением цифровой техники.

В конце 60 годов как результат проведения ряда научно исследовательских работ появилась тенденция разрабатывать бортовую аппаратуру в комплексе, например, системы пилотажно-навигационного комплекса разрабатывались одновременно с использованием общего интерфейса, обеспечивающего их взаимодействие без блоков коммутации.

Первый вариант комплекса с аналоговой аппаратурой, содержащей датчики СКТ и ЦВМ с преобразователями разрабатывался в самом начале 70 годов, и в обозначение систем комплексной аппаратуры были включены две последние цифры даты 1972 года разработки, например СВС-72, РВ-72 и т.п.

Последний комплекс с аналоговой аппаратурой и ЦВМ разрабатывался с участием французской фирмы. Предполагалось, что по надёжности, габаритам, и т.п. аппаратура будет «как на Западе», но из-за отставания элементной базы концепция разработки была изменена – аппаратура должна была только функционально соответствовать зарубежным разработкам. Одним из главных достижений считалась разработка трёхцветных индикаторов.

В Москве был выделен большой зал, в котором работали французские и русские инженеры. По проблемам разработки блоков аппаратуры сообщения-доклады обычно делали французские инженеры с комментариями со стороны русских инженеров, а по проблеме интерфейса сообщение-доклад делал русский инженер (представитель Филиала ЛИИ) с комментариями французского инженера. В процессе обсуждения доклада французский инженер усомнился в такой высокой точности передачи информации в

паре СКТ – преобразователь ЦВМ. Технический руководитель французской группы взял логарифмическую линейку (это середина 70 годов) рассчитал погрешность и что-то тихо сказал инженеру. Переводчица тихо сообщила нам: «Он сказал: «Русский прав»».

Несмотря на частые консультации в Париже, разработка и лётные испытания сильно затянулись.

Появились разработки цифровой аппаратуры и многоцветных индикаторов (вроде бы, 16 тысяч цветов).

Началась разработка цифровых комплексов.

Глава 2. Цифровой интерфейс

2.1. Информационное содержание сигналов

2.1.1. Единица информации

Как известно, в качестве единицы информации в измерительной технике принят так называемый эффективный интервал неопределенности, т.е. интервал измеряемой величины, эквивалентный по своим шумовым параметрам кванту $\Delta_{\text{э}x}$ измеряемой величины x . В этом случае информационное содержание сигнала определяется выражением:

$$c = \frac{\dot{x}}{\Delta_{\text{э}x}}, \text{ бит/с.}$$

На основании этого выражения могут быть определены предельное и среднеквадратичное информационное содержание сигнала в зависимости от того, какая скорость изменения параметра стоит в числителе - предельная или среднеквадратичная.

Побитовая передача информации есть тот минимум, который необходим для воспроизводства целочисленного значения передаваемой величины, но такой способ передачи неудобен тем, что источник информации должен вычислять передавать сигнал сразу после того, как величина параметра изменится на один бит в сторону увеличения или в сторону уменьшения, а приемник информации должен иметь сумматор, который будет путем сложения или вычитания находить истинное значение величины. Кроме того, такой способ передачи информации ненадежен, поскольку однократный сбой величины уже не позволит ее восстановить. Поэтому с точки зрения надежности трансляции информации целесообразно передавать информацию не побитово, а целочисленно, тогда значение величины будет восстановлено следующей за однократным сбоем посылкой. Но целочисленная передача информации потребует более длительного времени передачи, что можно делать, только если есть запас пропускной способности канала связи. Отсюда возникает задача определения пропускной способ-

ности канала связи и ее сопоставление с информационным содержанием сигнала, транслируемым по каналу связи.

2.1.2. Информационное содержание сигналов информационно-измерительных комплексов

Характеристики информационного интерфейса были проработаны в нескольких НИР (научно-исследовательская работа) для высокодинамичных самолётов во второй половине 60 годов, и во второй половине 70 годов появилась возможность опубликовать некоторые результаты в открытой печати (см. «В.А.Ацюковский. Построение систем связей комплексов оборудования летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1976). Выяснилось, что если просуммировать всю информацию от всех устройств, составляющих пилотажно-навигационный комплекс легкого самолёта, то суммарное информационное содержание сигналов составит от 400 до 500 бит/с, а для тяжелого - 800-1000 бит/с.

Если средняя длина проводной линии связи на легком самолете составляет 3м, а на тяжелом 10 м. то пропускная способность линии связи на легком самолёте составит порядка 10^7 , а на тяжелом - $5 \cdot 10^6$ бит/с. И, следовательно, коэффициент использования линии связи составит для легкого самолета $500/10^7 = 0,0005 = 0,05\%$, а для тяжелого самолета $1000/5 \cdot 10^6 = 0,002 = 0,2\%$.

А это значит, что никакой необходимости в создании особо высокочастотных каналов для трансляции пилотажно-навигационных сигналов нет никакой необходимости, согласовывать линии связи по волновому сопротивлению тоже не нужно, а саму информацию можно передавать целочисленным последовательным кодом на относительно низких частотах.

Это также означает, что каждый источник сигналов может выдавать сигнал с частотой, определяемой скоростью изменения физической величины целочисленно, и это открывает возможность применения целочисленных кодовых посылок в стандартном формате для всех источников сигналов. Это позволит всем источникам сигналов работать асинхронно, не связываясь друг с другом, а приемникам сигналов принимать сигналы тогда, когда им это потребуется, причем на своем входе они всегда будут иметь свежую информацию.

2.1.3. Пропускная способность проводных линий связи

При приведении исследования ряда проводов, используемых на самолетах и вертолетах для передачи информационных сигналов, выяснилось, что несмотря на внешнее различие проводов, все они имеют примерно равную пропускную способность, колеблющуюся в относительно узких пределах.. Для одиночных проводов, в том числе незранированных и экранированных эта величина колеблется в пределах от 10^7 до $2 \cdot 10^7$ бит/с·м, для бифилярных проводов, помещенных в общий экран, в пределах от $2,2 \cdot 10^7$ до $3,1 \cdot 10^7$ бит/с·м.

Пропускная способность проводов определялась из условий допустимой величины волновых искажений (из условия не превышения амплитуды выброса амплитуды $1/4$ от амплитуды прямоугольного импульса) при линии связи, не согласованной с нагрузкой.

Однако, если импульс имеет трапецеидальную форму, т.е. фронты имеют длительность, равную $0,25$ длины самого импульса, то пропускная способность этих же линий связи, по крайней мере, теоретически, увеличивается в 8 раз, а если импульс имеет колоколообразную форму, то и еще больше.

Если же линии связи согласовывать с нагрузкой путем установки на ее концах согласующих резисторов, величина которых составляет от 50 до 75 Ом, то волновые искажения исчезают, и пропускная способность линий возрастает. Но эти резисторы являются основным потребителем мощности выходных каскадов источников сигналов, что требует увеличения их мощности и к сокращению числа приемников сигналов, что не всегда возможно. А кроме того, разветвленные линии связи принципиально согласовать с нагрузкой нельзя, т.к. каждое ответвление линию разбалансирует.

Поскольку выяснилось, что пропускная способность несогласованных с нагрузкой линий связи велика и на несколько порядков превышает требования, в бортовом оборудовании возможно применение линии связи не согласованных с нагрузкой.

2.1.4. Обеспечение помехоустойчивости информации в проводных связях

В современных энергетических, промышленных и подвижных объектах широко используются разнообразные проводные информационные сети, от состояния которых зависит работоспособность самих объектов. Особое значение при этом имеет помехоустойчивость информации, транслируемой по этим сетям. Как показали исследования, основным источником помех для таких сетей являются силовые энергетические провода, особенно те, через которые включается разнообразная коммутационная аппаратура: в момент выключения обмоток реле и контакторов в таких проводах возникают электрические импульсы, достигающие сотен вольт, которые через электрическую и магнитную взаимную индукцию проникают в информационные сети и искажают информацию. *При этом энергетическим проводом реально является любой провод, хотя бы одним концом соединенный с источником силового напряжения.*

Проблема особенно обострилась в связи с все более широким применением на объектах, в том числе на летательных аппаратах, цифровой техники, восприимчивой к импульсным помехам.

Как выяснилось, допустимо рассматривать взаимосвязь между контурами, как это вытекает из уравнений Максвелла и закона Фарадея, а между проводами, при этом следует различать электродинамическую помеху и помеху электромагнитную. Первая связана с изменением величины электрического напряжения в первичном энергетическом проводе, она существует даже тогда, когда ток в первичном проводе пренебрежимо мал; вторая связана с изменением величины электрического тока в первичном проводе, она существует даже тогда, когда в первичном проводе напряжение пренебрежимо мало. Электродинамическая помеха проникает благодаря распространению вокруг энергетического провода электрического поля (электрической индукции) через взаимную емкость (рис. 2.1), электромагнитная помеха проникает благодаря распространению вокруг энергетического провода магнитного поля (магнитной индукции) через взаимную индуктивность (рис. 2.2). Соответственно и меры борьбы с ними разные.

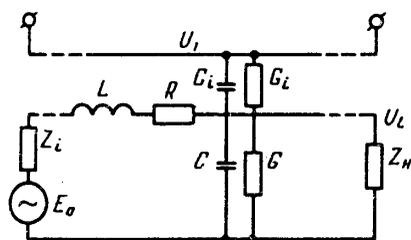


Рис. 2.1. Эквивалентная схема электродинамической связи цепей: U_1 – напряжение в первичной цепи; U_2 – напряжение полезного сигнала;

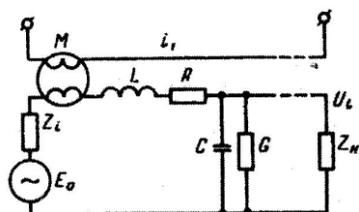


Рис. 2.2. Эквивалентная схема электромагнитной связи цепей: M – коэффициент взаимной индуктивности; i_1 – ток в первичной цепи;

Напряжение электродинамической помехи в информационном проводе определится выражением:

$$U_{\text{п}} = \frac{C_1}{C + C_1} \cdot \frac{z_{\text{н}}}{z_{\text{н}} + z_{\text{в}}}; \quad z_{\text{в}} = \frac{L}{C};$$

где C – погонная емкость провода (емкость одного метра провода на окружающие проводники), C_1 – погонная взаимная емкость провода, создающего помеху и провода, воспринимающего ее, $z_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки линии, $z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление линии связи.

Данное выражение справедливо только для неэкранированных проводов. Если информационные провода экранированы и экраны заземлены с обоих концов во всех разрывах цепи, например, в

разъемах или переходных колодках, то помеха отводится на землю при условии, однако, что индуктивным сопротивлением заземления можно пренебречь. Не следует забывать, что индуктивность одного метра провода в среднем колеблется от 0,5 до 2 мкГн/м. Поскольку импульсное напряжение при коммутациях первичной цепи может достигать сотен вольт при длительности импульсов от долей до десятков микросекунд, целесообразно информационные провода, особенно лежащие в общих с энергетическими проводами жгутах, выполнять экранированными, обращая при этом внимание на качество заземления экранов. Проникновение электромагнитной помехи от энергетического провода в информационные провода осуществляется через взаимную индуктивную связь.

Напряжение электромагнитной помехи определяется выражением:

$$U_{\text{п}} = M \frac{\partial i_1}{\partial t},$$

где M – коэффициент взаимной индукции энергетического провода, создающего помеху и информационного провода, ее воспринимающего. Для синусоидального тока

$$U_{\text{п}} = k_{\text{м}} f i_1 l; \quad k_{\text{м}} = 2\pi M, \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Измеренные для ряда авиационных бортовых проводов значения коэффициента связи $k_{\text{м}}$ составляют:

– для проводов типа БПВЛ сечением от 0,35 до 1 мм² $k_{\text{м}} = (5,65 \div 5,25) \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$;

– для пары проводов типа БПВЛ-БПВЛЭ тех же сечений $k_{\text{м}} = (4,5 \div 4) \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$;

– для пары проводов типа БПВЛЭ тех же сечений $k_{\text{м}} = (3,8 \div 3,5) \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Для проводов других сечений величина $k_{\text{м}}$ может быть определена из выражения

$$7 \cdot 10^{-6}$$

$$D_1 + D_2$$

$$k_M = \frac{\dots}{d} \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}; \quad d = \frac{\dots}{4}$$

где d , см – расстояние между осями энергетического и информационного проводов, D_1 и D_2 – их внешние диаметры, включая изоляцию.

Следует также отметить, что, как выяснено, *другие провода, находящиеся в тех же жгутах, помеху не экранируют, а наоборот, способствуют ее проникновению.*

На рис. 2.3 приведены измеренные значения напряжения помехи, возникающие на вторичном проводе при различных частотах тока в первичном проводе.

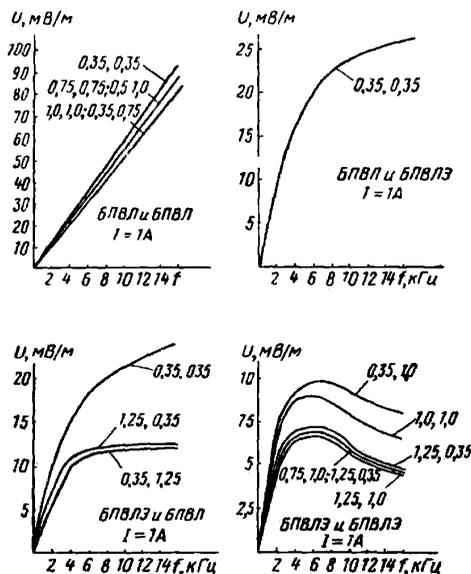


Рис. 2.3. Результаты экспериментального определения взаимосвязи проводов типа БПВЛ и БПВЛЭ различного сечения (сечения проводов даны в мм²)

Так, при частоте в 400 Гц длине провода в 20 м, сечении экранированных проводов БПВЛЭ 0,35 мм² значение наведенной помехи составит 30,3 мВ, что для синусно-косинусных трансформаторов даст дополнительную погрешность измерения угла поворота вала в 12 угловых минут, это существенно больше, чем собственная погрешность преобразователя. Для тех же условий, но при импульсной помехе и эквивалентной частоте в 1 МГц величина наведенной помехи в неэкранированных проводах составит порядка 600-800 В, в экранированных значительно меньше, всего несколько вольт, но тоже достаточных для сбоя транслируемой цифровой информации.

Существует ошибочное мнение, что помеху можно уменьшить путем нагрузки вторичного провода на относительно малое сопротивление, однако это не так. На рис.2.4 приведены зависимости изменения напряжения помехи от величины нагрузки на вторичном проводе. Как видно, значение помехи практически не зависит от нагрузки вплоть до единиц Ом. Таким способом избавиться от помехи нельзя.

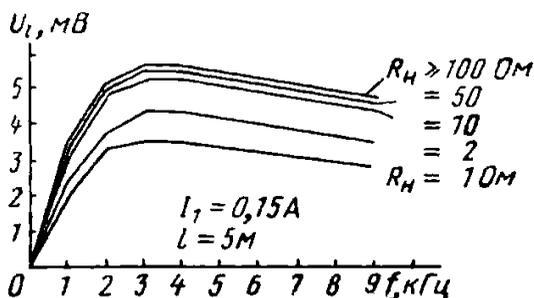


Рис. 2.4. Зависимость напряжения на вторичном проводнике при электромагнитной связи между экранированными проводами типа БПВЛ-0,5 от частоты при различной нагрузке (экспериментальные данные)

Не исключая известных способов уменьшения импульсных помех путем шунтирования всех переключаемых индуктивностей резисторами, диодами и цепочками LC и RC, следует отметить, что практически единственным способом избавления от электро-

магнитной и от остатков электродинамической помех является передача и прием информации дифференциальным способом по бифилярной линии (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Взаимодействие электромагнитной наводки с бифилярным проводом: 1 – источник наводки; 2 – источник сигнала; 3 – линия связи; 4 – дифференциальный приемник

При этом следует учитывать, что бифилярной линией является скрученная пара проводов, по которым в каждый момент времени транслируются токи одинаковой величины и противоположные по направлению. Это выполняется автоматически, если сигнал в оба провода генерируется одним источником и оба выхода его на оба провода одинаковы. Любое нарушение симметрии выходов генератора, проводов линии связи или входов приемника нарушает бифилярность и делает канал связи восприимчивым к внешним электромагнитным помехам.

Таким образом, передача сигналов цифровой и аналоговой информации должна производиться по скрученной паре проводов для цифровой информации или по скрученной тройке проводов для аналоговой информации, помещенных в общий экран, заземленный во всех местах разрыва.

Проработка проблем передачи цифровой информации - представление информации в коде, помехоустойчивость цифровых сигналов, конструкция линии - в конце 60-х годов в специальных районах послужила основой для разработки варианта цифрового интерфейса, характеристиками которого стали в свою очередь основой раздела цифровой передачи информации при разработке стандарта ГОСТ 18977-73 и РТМ 1495-75.

2.2. Цифровой интерфейс и комплексы аппаратуры

В конце 60-х годов в результате ряда НИР и развития цифровой элементной базы появилась тенденция разрабатывать цифровую аппаратуру (цифровой борт). Поэтому при разработке в 1971 г. первой редакции Государственного стандарта ГОСТ-18977-73 на бортовой интерфейс в проект стандарта по предложениям ряда институтов и предприятий был включён раздел требований к цифровой передаче информации – к цифровому интерфейсу.

Передача информации цифровым сигналом была проработана в ряде НИР в нескольких институтах, в том числе как показано в разделе 2.1 в Филиале ЛИИ.

При разработке конкретных значений характеристик, часть инженеров требовала абсолютно однозначных значений характеристик (помнила жуткую ситуацию начала 60 годов, когда каждый тип датчиков имел свой тип интерфейса), вторая полагала, что надо иметь «возможность выбора».

Первая редакция стандарта для цифрового интерфейса была разработана в Филиале ЛИИ на основе ряда исследований и передана в НИИСУ для рассылки в другие ведомства и ВЧ.

Основные характеристики:

- радиальная сеть,
- режим «всем»,
- структура слова: адрес: 4 или 8 бит,
информационная часть: 8, 16 или 24 бит,
- один тип линии – три витые пары,
- тактовая частота : 1,2; 2,4; 4,8; 12; 48 кбит/с, допуск $\pm 25\%$
- один вид сигнала – импульс два уровня – 10/0 В.

Весьма важно, что изначально для авиационного оборудования была выбрана радиальная сеть связи – радиальный тип интерфейса обеспечивающий **непосредственную** связь датчика информации с индикаторами (с экипажем), с управляющими системами, с вычислителями и т.п.

На совещании при обсуждении первой редакции стандарта представитель одного из головных институтов МАП, демонстрируя схему, которая выдавала код по одному из вариантов рекомендаций спецификации А-419, сообщил, что в проекте No.419 «Digi-

tal Data System Compendium» (краткий справочник по системе передачи цифровых данных), выпущенном корпорацией ARINC, дано подробное описание большого количества вариантов цифрового интерфейса для нескольких систем. После довольно долгого обсуждения было принято решение – изучить документ и, при разработке второй редакции, учесть положительные предложения из справочника-спецификации А-419.

Весьма важные особенности спецификации А-419:

- впервые спецификация предназначалась для новой разработки специальной серии (комплекса) аппаратуры, получившей обозначение «серия 500», (до этого и после, за исключением спецификации А-429 для «серии 700», документация разрабатывалась и разрабатывается корпорацией ARINC просто для каких-то новых разработок вообще без обозначения конкретной серии аппаратуры, например, «для коммерческой авиации»).

- в спецификации было дано большое количество (**поле**) вариантов цифрового интерфейса для нескольких конкретных систем, но **все** варианты базировались на 18 характеристиках, представлявших **полное описание интерфейса**,

- был дан **перечень параметров**, выдаваемых **каждой** системой-датчиком.

Характеристики цифрового интерфейса спецификации А-419:

- радиальная сеть связи, - режим «всем»,
- структура слова:
 1. адрес 8 бит, информационная часть 24 бит,
 2. фрейм из 4 частей, каждая имела два слова: 64 и 12 бит;
- линия: **три** витых пары, **одна** витая пара, коаксиальный кабель и параллельные провода - 1 провод на бит;
- тактовая частота: $11 \pm 3,5$ кбит/с, 768 бит/с, 384 бит/с и $12,288 \pm 0,1\%$ кбит/с;
- виды сигналов:
 - три вида сигналов, импульсы: 30/2; 2/0; 10/0 В,
 - два вида сигналов, импульсы: 10/0/-10; 12/0/-12 В .

- **полный перечень** – **18** характеристик цифрового интерфейса: 4 электрических, 4 временных, 4 логических и 6 информационных,

Недостатки спецификации:

- несколько вариантов каждой характеристики (от 2 до 7), например, 5 видов сигналов, 4 типа синхронизации слов, 7 типов представления информации в словах и т. п.

- каждая система-датчик имела множество вариантов значений характеристик, что делало сложной разработку систем-приёмников таких как вычислители и индикаторы (спецификации для этих систем естественно отсутствовали), и невероятно сложной сборку аппаратуры в комплекс, состоящий, например, из сотни систем.

- максимальная величина скорости передачи **бит** - 14,5 кбит/с была недостаточна для передачи информации в комплексах высокочастотных ЛА.

В поле характеристик спецификации А-419 были все характеристики указанные в 1-й редакции ГОСТ,а, но наличие двух лучших значений и **настойчивые требования** соответствия американскому документу со стороны некоторых институтов привели к некоторой доработке 2-й редакции.

Во вторую редакцию стандарта из характеристик А-419, были включены более эффективные значения:

- линия – **одна** витая пара в экране,
- вид импульса кода – 10/0/-10 RZ.

В RZ- коде («return to zero») каждый бит («1» или «0») представлен отдельным импульсом соответственно положительной или отрицательной полярности с паузой между импульсами, передача и прием импульсов осуществляется дифференциальным способом, что исключает влияние помех на качество принимаемой информации.

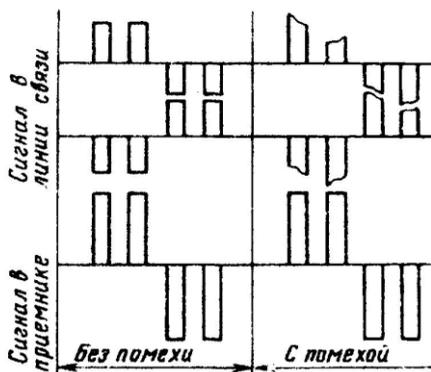


Рис. 2.6. Отделение полезного сигнала от помехи в дифференциальном приемнике сигнала с применением RZ-кода

Во 2-ой редакции стандарта был дан ряд значений скорости передачи данных, но предлагалось использование только **одного** максимального значения скорости в бортовом цифровом оборудовании - $48 \pm 25\%$ кбит/с, как скорости соответствующей динамике трансляции параметров измерительно-вычислительных систем различных типов самолётов и обеспечивающей высокую степень помехоустойчивости передачи сигнала.

Вторая редакция была разослана (около 80 адресов) институтом НИИСУ на согласование предприятиям МАП и во многие другие ведомства, в том числе в ряд (около 10) военных организаций (ВЧ).

Было получено более 300 положительных отзывов с замечаниями. В некоторых отзывах предлагались оригинальные варианты, например, ввести параллельные линии или передавать параметры по линии, состоящей из нескольких проводов.

Из замечаний и в процессе обсуждения 2-ой редакции с представителями институтов и предприятий выяснилось, что в ряде институтов имеются небольшие влиятельные группы, которые относились положительно к выпуску стандарта, но полагали, что характеристики интерфейса должны быть многозначны (как в А-419), а некоторые считали, что отечественный стандарт должен **точно** соответствовать спецификации-справочнику А-419.

Это проявление борьбы нового с новым было настолько значительно, что в МАП было проведено специальное совещание по проблеме – должен ли ГОСТ **точно** соответствовать спецификации-справочнику А-419 или стандарт может быть выпущен с содержанием 2-ой редакции, разработанной в Филиале ЛИИ и согласованной с ведущими институтами и предприятиями. Так как во 2-й редакции уже были включены две поправки значений характеристик из А-419, а в целом фундаментальное качество отечественного стандарта – общие характеристики цифрового интерфейса (единый «язык») для аппаратуры всех самолётов и вертолётов, было технически максимально эффективно и одобрялось различными институтами и предприятиями, в том числе ВЧ, то в министерстве было принято решение выпустить стандарт **точно** в соответствии с 2-й редакцией.

Государственный комитет СССР по стандартам выпустил ГОСТ-18977-73 (формат $\frac{1}{2}$ страницы А-4, четыре листа, из них два для цифрового интерфейса).

ГОСТ-18977-73 распространялся на комплексы, системы и функционально независимые устройства (информационно-измерительные, индикации и сигнализации, пульта управления и вычислительные средства) оборудования самолётов и вертолётов и сопрягаемое с ними бортовое оборудование.

В стандарте для цифрового интерфейса были нормированы - радиальная сеть, электрические и временные характеристики, структура слова и т.п.

В процессе разработки новых цифровых систем и комплексов стало очевидным, что целесообразно нормировать все 18 характеристик цифрового интерфейса, для чего был разработан руководящий технический материал РТМ-1495-75 (далее РТМ), в котором были даны остальные **однозначные** (в отличие от А-419) характеристики цифрового интерфейса. По настоянию представителей одного из министерств в РТМ после двух совещаний непосредственно с разработчиками аппаратуры в городе Тула были введены два режима обмена: «по запросу» и «по готовности».

В РТМ в 1975 г. впервые были даны характеристики магистральной сети связи (в РТМ – «Общая линия») на базе ГОСТ-18977-73. Был разработан проект, макет и программное обеспечение трехкратно резервированной магистрали с режимом «Про-

граммируемое расписание» для оборудования тяжёлого транспортного самолёта, включающего 3 инерциальные системы (ИС), 3 СВС, 3 высотомера и т.п.

Проект был передан в один из институтов для реализации, но чрезвычайная сложность организации взаимодействия ряда институтов и предприятий различных ведомств и появление в США мультиплексных шин (M-1553) остановили развитие этого направления

Следует напомнить, что разработка цифровой аппаратуры, работающей в комплексе, требует согласования информационного интерфейса каждого блока и устройства со всеми взаимодействующими системами (например, система СВС на тяжёлом самолёте типа Ил-96 выдаёт информацию 24 системам-приёмникам, а индикаторы экипажа, и система автоматического управления (САУ) получают информацию от большого количества измерительных и вычислительных систем).

Огромное количество документации (эскизные проекты, ТЗ и протоколы взаимодействия) для оборудования военных и гражданских самолётов и вертолётов стало поступать в Филиал ЛИИ на согласование.

Несмотря на наличие ГОСТ и РТМ, при разработке аппаратуры встречались отклонения исключающие взаимодействие систем, хотя было изменено значение только одной – двух характеристик. Например:

1. Два предприятия разработали для самолёта Ту системы, взаимодействие которых по всем информационным параметрам не получалось. На специальном совещании, было предложено доработать интерфейс обеих систем при точном соответствии РТМ. Присутствующие возмутились «зачем дорабатывать обоим разработчикам» и стали предлагать доработку только одной системы в целях минимизации доработок пусть с некоторыми отклонениями от РТМ. Но после выяснения, что обе системы будут также взаимодействовать с другими системами, разработчики согласились доработать и доработали интерфейс каждой системы (всё по РТМ).

2. В ЛИИ на согласование поступил протокол взаимодействия между двумя системами. В протоколе, наряду с обменом цифровыми сигналами (одна витая пара для информации в одну сторо-

ну, другая - в другую), предлагался обмен несколькими разовыми командами (4 провода в одну сторону и 5 в другую).

Передача информации разовыми командами между системами приводит:

- к появлению ложного сигнала или к невозможности передать сигнал в случае обрыва провода разовой команды;
- к необходимости дорабатывать фидер на самолёте в случае увеличения команд,
- к усложнению устройства ввода/вывода системы,
- к применению нескольких проводов наряду с витой парой, по которой можно передать команды в коде.

В ответе было предложено исключить отдельные разовые команды и передавать всю информацию в коде, с чем разработчики системы из города Томска сразу согласились и предупредили, что разработчики второй системы из Москвы будут возражать, но главные в разработке аппаратуры – разработчики из Томска, и необходимо настоять на исключении разовых команд отдельными проводами. Вскоре разработчики из Москвы и в самом деле «пожаловались» в очень важную инстанцию, откуда поступило предложение детально обосновать исключение разовых команд отдельными проводами.

На двух совещаниях было доброжелательно рассмотрено наше предложение передавать команды в коде по витой паре. Хотя предлагались некоторые отклонения от РТМ, но в итоге было принято решение об исключении отдельных линий разовых команд и точном соответствии рекомендациям РТМ.

Примечание – второе совещание проводилось вне здания организации – в маленьком парке летом, так как оказалось, что выдача пропусков на первое совещание в эту организацию инженерам из МАП – нарушение.

В соответствии с правилом Государственного комитета по стандартизации необходимо было чрез 5 лет рассматривать стандарты и выпускать соответствующую редакцию, поэтому в 1977 году началась проработка редакции документа для стандарта ГОСТ-18977-79.

В это же время возникла проблема - очень сложная и разрушительная для интерфейса авиационного оборудования.

Ещё в самом начале 70 годов в США цифровой авиационный информационный интерфейс был разделён на два типа: один для транспортной авиации, второй - для военной:

- для транспортной авиации – цифровой интерфейс вначале в соответствии со спецификацией А-419 (1971г.), затем - со спецификацией А-429 (1977г.) - **радиальная сеть**, режим передачи информации «**Всем**», определение параметра **по адресу**, вид импульсов кода – **RZ**, скорость передачи в А-419 **4-ре** значения - максимальная **14,5** кбит/с, в А-429 **2** значения - **12- 14,5** и **100** кбит/с и т.п.

- для военной авиации – в соответствии со стандартом М-1553, затем – со стандартом М-1553В – **обязательно дублированная мультиплексная шина** (дублированная магистраль), сначала режим передачи «**Команда-ответ**» затем добавлен режим «**Команда-всем**», определение параметра **по месту** расположения в пачке параметров, вид импульсов кода – **Manchester II**, скорость передачи бит - **1000** кбит/с и т.п..

Как видно - ничего общего.

Следует отметить, что это не только два разных технических исполнения интерфейса, а совершенно несопоставимые направления развития оборудования.

Первое - принципиально предназначено для обеспечения **взаимодействия и взаимозаменяемости** аппаратуры на **всех** самолётах транспортной авиации США, (а затем и Западной Европы). Нормированы **все** характеристики интерфейса, дан перечень систем и перечень параметров выдаваемых **каждой системой**.

Это исключительно важно для **разработки и эксплуатации** оборудования ЛА.

Второе направление – далеко неполный перечень характеристик интерфейса «**вообще**», и наличие контроллера-командира между датчиком и приёмником, командующем датчикам выдавать информацию, а в режиме « Команда-ответ» каждый приёмник ещё и должен сообщить командиру о приёме информации.

Разработка аппаратуры, работающей в комплексе, а тем более обеспечения эксплуатации оборудования на ряде типов ЛА невозможна без разработки дополнительной документации.

В мультиплексной шине скорость передачи **информации** (частота передачи информационных слов), вероятно, не увеличивает-

ся, большая скорость передачи **бит** крайне необходима, чтобы **втиснуть** в линию информационные слова от ряда систем. В этом плане скорость 1000 кбит/с мала.

Примечание. Ряд характеристик интерфейса M-1553, несмотря на описание интерфейса военных самолётов США, публиковались в печати. В «Литературной газете» была статья о выпущенной в Америке книге, в которой сообщалось, что на базе Rate-Patterson есть отдел, который собирает всё об авиационных разработках в СССР и других странах и выпускает специальные материалы. В некоторых публикациях с детальными характеристиками интерфейса стандарта M-1553 были ссылки на эту базу.

Вновь от небольшой части инженеров некоторых институтов и предприятий различных ведомств в том числе ВЧ появилось **требование** о **точном** соответствии отечественной нормативной документации соответствующей документации США.

Проблема со спецификацией А-429 решилась просто.

Достоинства спецификации А-429

- **однозначный** вариант цифрового интерфейса из большого количества вариантов в спецификации А-419 (в А-429 были даны 15 характеристик из 18 , такие же что несколько лет назад были в ГОСТ-18977-73 и РТМ, и только три характеристики: англосаксонская система мер, скорости передачи бит кода и структура слова отличались от характеристик в ГОСТ и РТМ).

- **увеличение** скорости передачи бит в радиальной линии, что также было сделано в отечественной документации, но в США были приняты 2 значения: 100 кбит/с и 12-14,5 кбит/с, (в нашей документации - 50 кбит/с).

При разработке в восьмидесятых годах базового комплекса цифровой аппаратуры для самолётов Ту-204 и Ил-96, некоторая часть инженеров различных институтов полагала, что:

- возможно отечественное оборудование будет применяться в других странах и может быть на американских самолётах,

- возможно применение американской аппаратуры на отечественных самолётах, в связи с чем **появилось требование** учесть расхождение со спецификацией А-429.

В 1985 году было выпущено дополнение № 3 к РТМ, в котором были отражены отличия спецификации А-429 от РТМ-1495-75 (в частности добавлено представление параметров в англосаксонской системе мер) что позволило устанавливать зарубежную аппаратуру с интерфейсом по А-429 на отечественные самолёты транспортной авиации без каких-либо доработок отечественной и американской аппаратуры.

С обеспечением соответствия отечественной аппаратуры стандарту М-1553 возникло множество проблем.

В то время для отечественной аппаратуры обязательно должен был быть отечественный стандарт, и потребовалось некоторое время пока за разработку взялись инженеры разных институтов, так как инженеры-разработчики ГОСТ и РТМ в различных институтах отказались вводить второй интерфейс и разделять одну и ту же аппаратуру для военных и транспортных самолётов по интерфейсу, по эксплуатации, по элементной базе, по конструкции сети на самолёте, по техническому персоналу и т.п., тем более что интерфейс **всех** военных ЛА уже был выполнен в соответствии с ГОСТ и РТМ, что обеспечивало высокую техническую эффективность и надёжность интерфейса на любом ЛА, но главное - единый тип интерфейса (единый «язык») для оборудования всех типов ЛА, что **исключительно важно для производства и особенно для эксплуатации.**

Под огромным давлением (надо «как в Америке», какие-либо технические расчёты отсутствовали) как-то учесть американскую разработку для военных во второй редакции проекта стандарта ГОСТ-18977-79 ряд значений скорости передачи **бит** был расширен и вставлен пункт 4.3, в котором виды и уровни сигналов при передаче **бит** со скоростями 500 и 1000 кбит/с должны быть указаны в нормативной технической документации, утверждённой в установленном порядке, то есть стандарт ГОСТ-18977-79 не «закрывал дорогу» разработке интерфейса в соответствии с М-1553. Тем не менее, в НИИСУ появилось письменное требование включить во вторую редакцию ГОСТ-18977-79 текст (четверть страницы), в котором предлагалось в завуалированном виде записать непосредственно в стандарте, что ГОСТ-18977-79 устарел и в дальнейшем должен быть заменён на разработку стандарта экви-

валентного М-1553. В связи с этим отсутствовала виза, без которой нельзя было отправить окончательную редакцию стандарта из НИИСУ в ГОССТАНДАРТ для утверждения.

Так как интерфейс аппаратуры для всех военных ЛА был фактически разработан в соответствии с ГОСТ и РТМ, а стандарт, эквивалентный М-1553, только начинал разрабатываться, то после совещания в соответствующем институте, институт НИИСУ получил необходимую визу, окончательная редакция была направлена в Государственный комитет, и выпущен стандарт ГОСТ-18977-79 без предлагаемой вставки.

В статье одного из американских журналов сообщалось, что введение мультиплексных шин, в том числе в систему электропитания, экономит 700 кг из 2000 кг проводов на бомбардировщике В-1 (т.е. мультиплексная сеть – 1300 кг ?!). Во многих случаях на многих совещаниях экономия проводов (естественно без расчётов) выдвигалась как главная цель применения аналога стандарта М-1553 в отечественной военной авиации.

Впоследствии в начале 80-х годов оказалось, что по предварительной оценке по документации для пилотажно-навигационного комплекса самолёта типа Ту, в которой были представлены типы линии и их длина, масса проводов радиальной цифровой сети, которую можно было бы заменить на мультиплексные шины составляла около 12 кг при применении витой пары с массой 7-10 грамм на метр. Различие с американскими данными было настолько велико, что было решено не публиковать данные во избежание вспышки было утихших разногласий с апологетами аналога М-1553.

В первых публикациях материалов по стандарту М-1553 был только режим обмена «Команда-ответ», который в одном из американских журналов представлялся как наиболее подходящий для аппаратуры военных ЛА. Проект отечественного стандарта так же включал только этот режим. На замечание, что режим «Команда-ответ» непригоден для аппаратуры ЛА, так как между датчиком и приёмником информации, влияющей на безопасность полёта, не должно быть никаких «командиров», в частности для пилотажно-навигационного комплекса, где СВС на тяжёлом самолёте выдаёт данные более чем двум десяткам потребителей и собирать «ответ

ты» просто нет времени, был получен ответ-вопрос типа: «Вы считаете, что американцы ошибаются?». Но американцы в очередной публикации учли специфику обмена информации в ЛА и в какую-то следующую публикацию варианта стандарта включили режим «Команда-всем»: командное слово означало «Принимать информацию всем», выдача ответного слова со стороны приёмников отменялась. Это значительно усовершенствовало алгоритм передачи информации, но принципиально недопустимый для пилотажного оборудования недостаток — наличие «командира» остался.

Приверженность к американскому стандарту несколько повредила разработке элементной базы для интерфейса военных и транспортных самолётов.

Для оборудования совершенно новых транспортных самолётов Ил и Ту МАП разместило в МЭП (министерство электронной промышленности) заказ на разработку элементной базы — комплекта микросхем, в который входили микросхемы формирования и приёма импульсов кода.

Один из сотрудников головного института МАП по заказу элементной базы сообщил, что заказ этих микросхем сделан для мультиплексных шин (М-1553). Ответственный за сбор требований со стороны предприятий МАП и формирования заказа в МЭП в телефонном разговоре сообщил, что кроме всего он посоветовался с апологетами М-1553, и те сказали, что перспективен М-1553, а ГОСТ и РТМ устарели. На наше возражение, что ГОСТ и РТМ не устареют никогда, а М-1553 никогда не будет применяться в транспортной авиации всего мира, ответственный предложил вместе с ним поехать в Минск (где располагалось предприятие-разработчик микросхем, получившее заказ) и может быть что-то исправить. В Минске Главный конструктор по этому заказу сказал, что мы должны обратиться в своё министерство, которое пусть обратится в МЭП, которое предложит (если предложит) нам поменять направление, но мы откажемся, так как работа уже начата и изменение невозможно. С тем мы и уехали.

Положение с элементной базой улучшилось в связи с разработкой в радио институте (город Таганрог) схем-микросборок (габариты заметно больше, чем у микросхем) приёма/передачи кода в соответствии с ГОСТ и РТМ, документация была передана для

серийного выпуска, и серийные схемы используются в аппаратуре.

Многие инженеры различных министерств считали недопустимым разделение однотипной аппаратуры (высотомеров, инерциальных систем, вычислителей, индикаторов для лётного экипажа и т.п.) по интерфейсу для транспортных и военных самолётов. На различных совещаниях различного уровня по обсуждению проблем развития бортовой аппаратуры возникала жёсткая критика настойчивых предложений учесть характеристики интерфейса типа М-1553.

При выходе с одного из таких совещаний один из инженеров сказал другому что-то вроде: «Хорошо, что у нас не продают оружия, а то бы начали стрелять». Через какое-то время с очередного совещания выходили вместе с последователем стандарта М-1553, который сказал: «Ваше счастье, что не продают оружие. Я бы вам показал».

Позже в Америке был выпущен стандарт М-1553В, в котором были некоторые отличия от М-1553 и соответственно от выпущенного отечественного стандарта, теперь в среде американофилов возникли разногласия и в очередной раз появилось требование о **точно** соответствии американскому документу. Вероятно, в очередной модификации стандарта, выпущенной позднее, эти отличия, были устранены.

Однажды ЛИИ предложили принять участие в комиссии по разработке общесоюзного документа на цифровой интерфейс. Цель – разработать **ряд** каждой характеристики интерфейса (как **ряд** диаметров винтов и гаек), для различных отраслей промышленности. Предложение изучить опыт авиационной промышленности и использовать ГОСТ-18977-79 вызвало отрицательную реакцию. Многие члены комиссии из разных отраслей считали, что такой общесоюзный стандарт не нужен, а один из участников считал, что стандарты «связывают руки» и не нужны вообще. Чем закончилась работа комиссии неизвестно.

В начале 80 годов на совещании высокого уровня по применению волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) обсуждались проблемы: затухания и замирания сигнала в длинных линиях, выбор цвета сигнала и типа сети со скоростями трансляции несколько Гигабит/с и т.п. В перерыве представитель из президиума

предложил представителю от авиационной промышленности обсудить вопрос применения ВОЛС- есть ли сейчас или в ближайшем будущем острая необходимость в ВОЛС для обеспечения таких скоростей передачи сигнала и помехозащищённости от электромагнитных помех, то есть без применения ВОЛС невозможно обеспечить взаимодействие какой-то части авиационной аппаратуры?

Информационный интерфейс для **всего** оборудования **всех** типов ЛА был детально проработан. В радиальной линии вполне хватало скорости **бит**- 50 кбит/с, в магистральной линии – 200 кбит/с, в мультиплексной шине - скорость 1000 кбит/с. Существенное усложнение архитектуры сети, применение скорости, например, 1000 000 кбит/с при всех усложнениях трансляции сигнала было конечно неприемлемо для авиационной аппаратуры, связанной с безопасностью полёта, тем более что применение витой экранированной пары с дифференциальными схемами передачи и приёма сигнала обеспечивало практически такой же уровень помехозащищённости передачи данных. Применение ВОЛС было нецелесообразно.

В последствии в зарубежном журнале было сообщение о работах по применению ВОЛС в авиационном оборудовании, которое заканчивалось фразой типа: «Применение стекловолокна перспективное направление, но в настоящее время и в ближайшем будущем применение медных проводов достаточно эффективно».

На различных совещаниях со стороны представителей других областей техники проявлялся интерес к решению проблемы интерфейса в авиации. В танках существовала проблема связи при вращении башни. У моряков - проблема передачи начальных данных с авианосца на самолёт перед взлётом. Не смотря на то, что авиационная аппаратура разрабатывалась в различных ведомствах (МАП, МРЦ, МПСС, МОМ, МЭП и т.п.) наличие в авиации Филиала ЛИИ по оборудованию (в последствии НИИАО – НИИ авиационного оборудования), особенностью (возможно единственной в мире) которого было наличие инженеров, знавших прошлое и настоящее каждого блока оборудования, принимавших активное участие в лётных испытаниях с разработкой рекомендаций на будущее, обеспечивало согласованную разработку

высокоэффективного бортового оборудования с единым типом цифрового интерфейса.

Весьма эффективный интерфейс авиационного оборудования повлиял на качество интерфейса космического оборудования. Космический аппарат типа «Челнок» с экипажем должен был приземляться по самолётному, в связи с чем на борт устанавливалась аппаратура, разрабатываемая авиационными институтами, и возникла проблема взаимосвязи авиационной аппаратуры с космической.

Ответственный институт за разработку в целом проблему по интерфейсу переадресовал ЛИИ, инженеров которого пригласили на совещание в один из институтов, отвечавших за космическое оборудование.

При первой встрече выяснилось, что отдел, которому поручили разработку интерфейса, только начал заниматься этой проблемой, и предложения инженеров отдела в сравнении с реальным интерфейсом ГОСТ-18977-79 оказались неэффективны. Через час – полтора после доброжелательного обсуждения было предложено написать протокол с заключением, что взаимодействие систем должно производиться по авиационному интерфейсу. Встречавшие попросили время для проработки.

Вторая встреча, теперь с инженерами другого отдела так же только начинавшими заниматься проблемой, через короткое время закончилась так же.

При третьей встрече, теперь с инженерами третьего отдела, детально проработавшими интерфейс и принявшими 17 из 18 характеристик авиационного интерфейса, потребовалось обсуждение одной характеристики – способа разграничения слов: паузой как в ГОСТ-18977-79 или специальным импульсом, как в стандарте М-1553В.

По сравнению с разграничением «паузой», разграничение «специальным импульсом», отличным от информационных импульсов, имеет ряд недостатков, но обсуждение затянулось и только после обеда разработчики космической аппаратуры согласились принять полностью авиационный тип интерфейса для взаимодействия с космической аппаратурой.

Таким образом в отечественной авиационной промышленности в области цифрового интерфейса действуют документы опре-

деляющие только два типа интерфейса, регламентируемые документами:

- **ГОСТ-18977-79** «Комплексы бортового оборудования самолётов и вертолётов. Типы функциональных связей. Виды и уровни электрических сигналов».

РТМ-1495-75 «Руководящий технический материал авиационной техники. Обмен информацией двуполярным кодом в оборудовании летательных аппаратов».

Радиальная сеть и, как вариант, общая линия (магистральная сеть с распределённым управлением), определение параметра по адресу и т.п.

- **ГОСТ-Р-52070-2003** «Интерфейс магистральный последовательной системы электронных модулей».

Магистральный последовательный интерфейс (мультиплексный канал передачи данных) с централизованным управлением, определение параметра по месту в сообщении и т.п.

По сравнению с современным состоянием документации в США это большое достижение, но конечно по прежнему некоторые разработчики аппаратуры предлагают множество типов интерфейса «как в Америке».

Интерфейс в соответствии с ГОСТ и РТМ реализован на самолётах всех типов, в частности на самолётах Ил и Ту в комплексе стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования (КСЦПНО). На ряде военных самолётов реализован ГОСТ-Р-52070-2003.

Глава 3. Современное состояние цифрового интерфейса и интеграция систем

3.1 Современное состояние цифрового интерфейса (2001-2014 гг.)

В общем на тяжёлом самолёте цифровой интерфейс используют около 80 единиц аппаратуры.

В **отечественной** транспортной авиации используется один тип цифрового интерфейса. Есть отклонение – в метеолокаторах используется два типа - второй в соответствии со спецификацией А-708. В военной авиации используются два типа интерфейса.

В **американской** аппаратуре также, в основном, используется два типа интерфейса, но один для транспортной авиации, а другой для военной, и у них есть варианты, как для транспортной, так и, вероятно, для военной.

В начале 2000 годов в США стало выпускаться большое количество документов с различными типами цифрового интерфейса для авиационного оборудования на основе документов для наземной техники:

- на основе документов для сетей ETHERNET - спецификация **А-664**,
- на основе документов для сетей CAN - спецификация **А-825**,
- для волоконно-оптических линий связи - спецификация **А-818**,
- появился документ ассоциации GAMA, отличающийся от спецификации А-429 (документ называется «ARINC 429», а в тексте «**GAMA 429 DATA BUS STANDARD**»),
- появилась шина для гражданских и военных самолётов **шина ГТР**.

В спецификациях **А-629, А-636, А-637, А-646** также есть информация о различных типах интерфейса.

Этот фонтан типов интерфейса выглядит весьма не корректно и очень похож на спецификацию А-419 (1971г), исключенную выпуском спецификации А-429 - рекомендацией для интерфейса (единого языка) транспортной авиации зарубежных стран.

Если в то время (семидесятые годы) в отечественной авиации было только требование «как в Америке – по А-419», то, судя по рекламному проспекту одного акционерного общества (АО), представленном на салоне МАКС, АО использует в своей аппаратуре после-

довательные каналы по А 664, А 429, А 708, А 818, MIL-STD-1553В (естественно без упоминания двух отечественных стандартов и РТМ).

Типы интерфейса несовместимы на одном борту без соответствующего количества коммутаторов, мостов, шлюзов, брандмауэров и т. п. так как во всех спецификациях значения одной и той же характеристики интерфейса различны, например, три базовые характеристики:

1 Спецификация А-429

1. Сообщение – набор слов. Структура слова.

L	I	DATA	M	P	Обозначение	*
8	2	19	2	1	Число бит	**

2. Перечень практически всех блоков и параметров, выдаваемых блоками.

3. Скорости трансляции бит (кбит/с): **12-14,5 и 100**

2 Спецификация А-664 ETHERNET (AFDX)

1. Сообщение – фрейм или несколько. Слова в поле DATA

PLS	SFD	SA	TA	TLF	DATA	FCS	*
56	8	48	48	16	от 48 до 1600 байт	32	**

2. Перечни отсутствуют

3. Скорости трансляции бит (кбит/с): **10000, 100000, 1000000**

3 Спецификация А-825 CAN

1. Сообщение – набор кадров.

IFS	SOF	ID	DATA	CRC	ACK	EOF	*
3	16	29	0 – 8 байт	15 + 1	16 + 1	7	**

2. Перечни отсутствуют

3. Скорости трансляции бит (кбит/с): **83,3; 125; 250; 500; 1000.**

4 Спецификация А-818 Fibre Optic

1. Сообщение – набор фреймов.

OF	Header	Data Field	CRC	E	*
				OF	

2. Перечни отсутствуют

3. Скорости трансляции бит (кбит/с):

1062500, 1500000, 1620000, 2125000, 3187500, 4250000, 8500000.

5 Шина ТТР для военных и транспортных самолётов

1. **Сообщение** (в имеющихся материалах нет).
2. Перечни отсутствуют.
3. Скорость трансляции бит (**кбит/с**) : максимальная **25000**.

Принципиальные отличия новых зарубежных документов:

- типы интерфейса предназначены для авиации «вообще», «в будущем» или даже для конкретных самолётов, без привязки к конкретному оборудованию,

- в новых спецификациях просто копируются характеристики из документов для наземной техники с добавлением большого количества ссылок на другие документы, которые необходимо «прочитать»,

- нормировано только несколько характеристик интерфейса,

- часто характеристики в спецификациях имеют несколько значений, так же, как это было в спецификации А-419 для аппаратуры серии 500,

- естественно отсутствует перечень систем и параметров, выдаваемых системами,

Возможно, что новые типы интерфейса в спецификациях корпорации ARINC предназначены для оборудования развлечения и обслуживания пассажиров и не предполагается их применение вместо интерфейса спецификации А-429.

3.2. Процесс интеграции в авиационном оборудовании

Из материалов салонов МАКС следует, что базовое направление развития авиационного оборудования – интеграция функций систем в блоке.

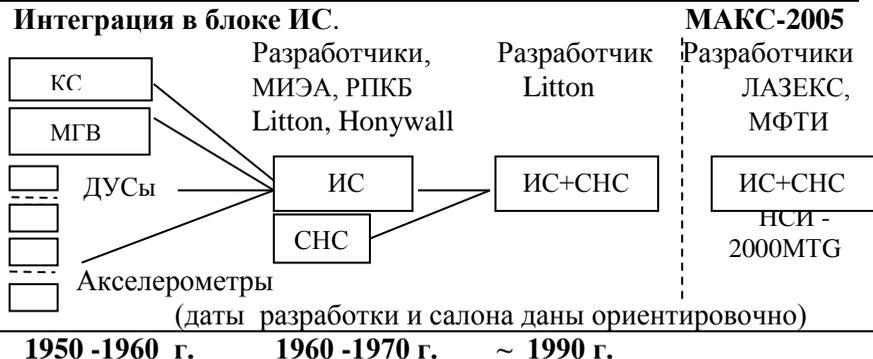
Часто тип интерфейса не указывается в рекламных проспектах, но применение предполагается в структуре современного оборудования и, следовательно, с каким-то стандартным интерфейсом, выбираемым в соответствии с заказом.

Судя по развитию конструкции аппаратуры за последние ~ 50 лет:

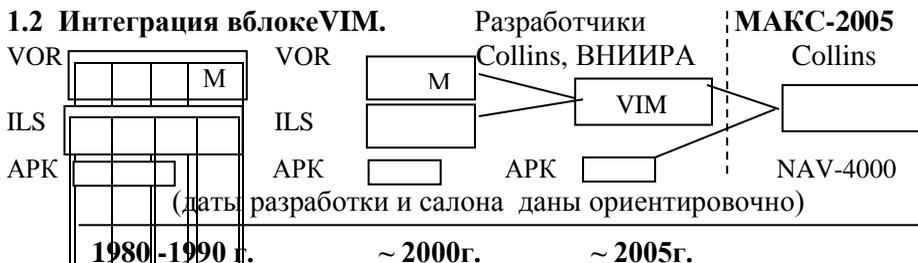
- интеграция началась в 60 годы прошлого столетия (рисунок 1 части 1.1 и 1.2);

- и достигла приличных результатов лет 5 назад (рисунок 2 части 1.3, 1.4, 1.5).

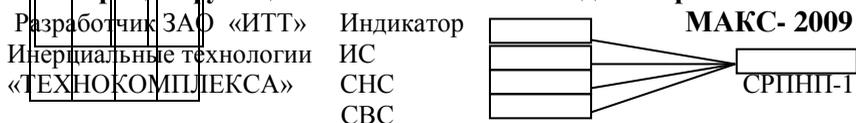
1.1 Интеграция в блоке ИС.



1.2 Интеграция в блоке VIM.



1.3 Интеграция функций систем в системе-индикаторе СРПП-1.



1.4 Интеграция функций в системе-вычислителе ВСС-95-1В



1.5 Интеграция функций в системе-индикаторе БМС-2010.



Рис. 3.1. Процесс интеграции в авиационной аппаратуре.

Интеграция ряда систем в блок заметно сокращает число радиальных линий, и при интеграции аппаратуры радиальная сеть становится **совершенной** структурой, замена которой даже магистралью не даст ощутимых результатов для пилотажно-навигационной аппаратуры тяжёлого самолёта при трёхкратном резервировании магистральной сети.

Проблема авиационного цифрового интерфейса – решённая проблема.

Два стандарта и РТМ - в отечественной авиации, базовая спецификация ARINC-429 и стандарт M-1553B в США и аналогичная документация в Европе - это технический язык в аппаратуре всего авиационного мира, и, так же как в литературном языке определённого народа, всякие предложения поменять язык на какой-то другой выглядят крайне не корректно, отвлекая от **главного** в настоящий момент направления развития оборудования – **интеграции** функций систем в блок.