

**РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПЛАНШЕТНОГО ИНТЕРФЕЙСА  
«ЧЕЛОВЕК–МАШИНА» ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ПИЛОТИРУЕМОГО  
КОРАБЛЯ «СОЮЗ-МС»**

**В.П. Корвяков**

vladimir.korviakov@gmail.com

**ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»,  
г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация**

---

**Аннотация**

Продолжена работа по интеграции мобильного интерфейса «человек–машина» на базе планшетного компьютера в систему управления пилотируемых космических аппаратов. Рассмотрены разные схемы реализации информационного взаимодействия между планшетом и бортовыми системами транспортного пилотируемого корабля «Союз-МС» и выбран оптимальный вариант. Приведено описание разработанного прототипа графического интерфейса для планшета космонавта и выполнено его сравнение с существующим интерфейсом пульта космонавта спускаемого аппарата. Представлены оценки характеристик тракта передачи информации

**Ключевые слова**

*Планшетный компьютер,  
интерфейс «человек–машина»,  
космический корабль «Союз-МС»*

Поступила в редакцию 17.01.2017  
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

---

В течение последнего десятилетия планшетные компьютеры и иные мобильные устройства все более широко используются в качестве интерфейсов «человек–машина» для комплексов промышленной автоматизации, управления транспортными средствами, в быту и во множестве других областей. Актуальность работы состоит в том, что внедрение планшетного компьютера в контур управления транспортного пилотируемого корабля (ТПК) серии «Союз-МС» позволит существенно повысить эффективность работы космонавта.

Объектом исследования являются интерфейсы «человек–машина» пилотируемых космических аппаратов. Предмет исследования — определение оптимальной схемы интеграции планшета в контур управления.

Существует множество примеров эффективного применения мобильных интерфейсов для управления техническими системами в наземных условиях. Например, использование планшета в составе системы SCADA для управления технологическим процессом небольшого завода [1], применение смартфона для удаленного управления транспортным средством с установленной на нем камерой наблюдения [2], использование планшетного компьютера в качестве стационарного интерфейса к системе «умный дом» [3]. Несмотря на то что для взаимодействия планшета с контроллером в этой работе используется проводное соединение, исключаяющее мобильность управления, разработанный планшетный интерфейс позволил удешевить и упростить внедрение системы «умный

дом». Хорошим примером использования мобильного интерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) является работа [4], в которой подробно описана методика оценки и улучшения пригодности использования интерфейса. На базе полученных количественных экспериментальных оценок сделан вывод о том, что планшетный интерфейс обеспечивает лучшее качество управления БПЛА, чем интерфейс на базе смартфона. Авторы статьи [5] сделали следующий шаг в технологиях беспроводных интерфейсов и использовали наголовный интерфейс «мозг-компьютер», работающий по принципу электроэнцефалографа (ЭЭГ), для управления полетом БПЛА. Такой интерфейс позволяет осуществлять управление без приложения физических усилий и освободить руки оператора.

Приведенные примеры показывают широту возможных применений мобильных интерфейсов, и все исследователи соглашаются с тем, что использование планшетных компьютеров позволяет улучшить некоторые свойства человеко-машинной системы. В зависимости от области применения это может проявляться, например, в оперативности управления, удобстве доступа к управляющим функциям из любого места или повышении экономических показателей системы.

Для планшетного интерфейса ТПК «Союз-МС» отдельным вопросом стоит выбор оптимальной схемы интеграции планшетных компьютеров в существующий контур управления корабля. Разработчики космической техники должны принимать во внимание множество факторов, характеризующих оптимальность того или иного решения. К таким факторам относятся, например, надежность, масса и габаритные размеры конструкции, потребляемая мощность. Кроме того, при разработке архитектуры сети важными ее характеристиками являются пропускная способность и задержки при передаче сигнала.

**Целью настоящей статьи** является разработка оптимальной схемы интеграции планшетного компьютера в контур управления ТПК серии «Союз-МС» и практическая проверка работоспособности этой схемы с помощью прототипа программного обеспечения планшета.

Первые шаги в проектировании персонального мобильного интерфейса для управления пилотируемым космическим аппаратом были сделаны в работе [6], которая освещала вопросы применения планшетного компьютера в качестве мобильного интерфейса многоцелевого лабораторного модуля МКС. В работе [7] приведено описание макета графического интерфейса для планшетного компьютера, имитирующего ряд графических форматов интерфейса пульта космонавта спускаемого аппарата (ПКСА) «Нептун-МЭ» (рис. 1) ТПК серии «Союз ТМА-М».

По сравнению с условиями использования планшетных компьютеров на борту долговременных орбитальных станций (ДОС) применение планшетов на борту ТПК имеет свою специфику. Основные отличия деятельности экипажа на борту ТПК и ДОС на примере МКС и кораблей серии «Союз-МС» приведены в таблице.



Рис. 1. Пульт «Нептун-МЭ» ТПК «Союз ТМА-М»

**Сравнение деятельности экипажа на борту МКС и ТПК «Союз-МС»**

МКС	ТПК «Союз-МС»
Большой объем обитаемого пространства, возможность свободного перемещения	Малый объем пространства. Перемещение возможно, но основные операции выполняются в кресле-ложементе
Непрерывное воздействие микрогравитации	Высокие перегрузки на этапах выведения и спуска
Длительность непрерывного пребывания экипажа на борту от нескольких недель до года [8]	Длительность непрерывного пребывания экипажа на борту от 6 ч до нескольких суток [9]
Сверхсложная система управления, объединяющая в сеть множество модулей, систем и подсистем [10]	Система управления бортовыми системами ТПК имеет простую (по сравнению с МКС) структуру [11]
Низкая (по сравнению с ТПК) динамика управления от экипажа	Высокая динамика управления, требуется непрерывное внимание и быстрая реакция экипажа
Основная цель полета — проведение космических экспериментов и работа с полезной нагрузкой [12], а также работы по строительству и ремонту станции (в том числе деятельность вне корабля)	Основная цель полета — доставка экипажа на МКС и возвращение на Землю

Таким образом, можно сделать вывод, что полет на ТПК «Союз» предъявляет более высокие требования к интерфейсу «человек–машина» (ИЧМ) и системе управления в целом, а также к навыкам и уровню подготовки экипажа. Внедрение планшетных компьютеров в комплекс ИЧМ ТПК «Союз» имеет следующие преимущества.

1. Дисплей интегрированного пульта управления (ИнПУ) ПКСА «Нептун-МЭ», диагональ которого равна 25,88 см, находится на расстоянии 1 м от глаз космонавта. Экран планшета будет находиться на расстоянии 40...50 см от глаз.

При сопоставимых размерах элементов интерфейса и диагонали экрана, равной 25 см, применение планшетных компьютеров позволит снизить нагрузку на зрение космонавтов.

2. Расстояние до пульта, превышающее длину руки космонавта, вызывает необходимость использования специальной указки для нажатия на аппаратные кнопки ПКСА. При использовании планшета для взаимодействия с интерфейсом может понадобиться только специальный стилус, если космонавт будет одет в скафандр.

3. Возможность тесной интеграции функционального программного обеспечения планшета с документацией в перспективе позволит автоматизировать и существенно упростить процедуры заполнения журналов, фиксирующих параметры работы бортовых систем на различных этапах полета. В настоящее время формы этих журналов заполняются вручную.

4. Применение современных подходов к пользовательскому взаимодействию с использованием сенсорного ввода, жестов и голосового ввода позволит сделать навигацию между форматами различных бортовых систем и процедур более удобной и быстрой.

5. Использование планшетного компьютера даст космонавту возможность быстрого доступа к информации о системах корабля даже в том случае, если он будет находиться не в кресле спускаемого аппарата, а в бытовом отсеке.

6. По современным меркам платформа ИнПУ (процессор AMD Geode GX1 с частотой 133 МГц, 32 МБ RAM, 32 МБ SSD) имеет достаточно скромную производительность. Вычислительные и графические возможности современных планшетов обеспечат решение задач, на которые ресурсов ИнПУ недостаточно.

Следует отметить недостатки планшетного интерфейса и ограничения, которые могут накладываться на процесс управления с его применением.

1. Планшетные компьютеры, производимые мировой и отечественной промышленностью, имеют различные степени защиты по системе Ingress Protection Rating [13], которая определяет защиту устройства от проникновения внешних твердых предметов и пыли, а также воздействия влаги. В работе [14] приведены дополнительные особенности применения защищенных планшетных компьютеров, а именно устойчивость к воздействию механических (вибрации и удары) и климатических (низкие и высокие температуры) факторов, а также обеспечение защиты информации. Но и эти меры не обеспечивают защиту от опасных факторов космического полета, к которым относятся вакуум (в случае разгерметизации), космическая радиация и тяжелые заряженные частицы. Тем не менее опыт эксплуатации ноутбуков на борту МКС позволил выработать комплекс программных и методических мер, повышающих надежность работы коммерческих аппаратных средств в условиях космического полета.

2. Космонавт должен контролировать уровень заряда аккумулятора планшета и, если необходимо, подключать его к зарядному устройству, которое должно обеспечивать возможность питания от бортовой сети 27 В. Блоки питания, поставляемые в комплекте с планшетами, для этой цели не подходят.

3. Пульт космонавта спускаемого аппарата имеет внешние интерфейсы RS-232, которые используются при наземных испытаниях. Эти интерфейсы можно применять для обмена с внешними устройствами, но основными информационными интерфейсами планшетов являются беспроводные сети стандартов IEEE 802.11a/b/g/n (Wi-Fi) и IEEE 802.15.1 (Bluetooth). Таким образом, для обеспечения связи ПКСА с планшетом необходимо дополнительное устройство, которое будет играть роль моста между беспроводной сетью и ПКСА.

4. В настоящее время открытым является вопрос электромагнитной совместимости беспроводных сетей с бортовыми системами ТПК «Союз-МС». Тем не менее опыт использования сетей Wi-Fi на борту МКС позволяет сделать вывод о возможности безопасного применения беспроводных сетей на борту КА.

5. Поскольку ПКСА и планшет используют принципиально разные методы ввода данных (аппаратные кнопки и сенсорный ввод), графический интерфейс планшета должен учитывать эти различия. В частности, при вводе данных, способных вызвать нештатные ситуации, необходимо вводить дополнительные подтверждения ввода. Программа подготовки космонавтов также должна быть скорректирована с учетом этих особенностей.

Приведенные «за» и «против» позволяют сделать вывод о том, что применение планшетов при управлении ТПК «Союз-МС» принесет значительную пользу, а связанные с этим ограничения можно обойти технически или с помощью методических указаний. На первом этапе внедрения планшетов в контур управления ТПК «Союз-МС» в целях проверки качества тракта передачи данных и исключения возможности случайного воздействия на бортовые системы предлагается ограничиться только отображением информации на планшете. Выдача управляющих воздействий в бортовые системы производиться не будет. В качестве базовой модели планшета был выбран Samsung Galaxy Tab S2.

Первым вопросом, вставшим при решении поставленной задачи, стал метод обеспечения связи между бортовыми системами и планшетом. ПКСА «Нептун-МЭ» включает в себя два независимых ИнПУ. В левой части ПКСА расположен экран ИнПУ-1, которым управляет бортинженер корабля. В центральной части ПКСА расположен экран ИнПУ-2, управляемый командиром корабля. Обмен информацией между каждым из ИнПУ и бортовыми компьютерами ЦВМ101 и КС-020М осуществляется по мультиплексному каналу обмена (МКО), построенному на базе шины MIL STD 1553В (рис. 2) [11]. Получение данных планшет-

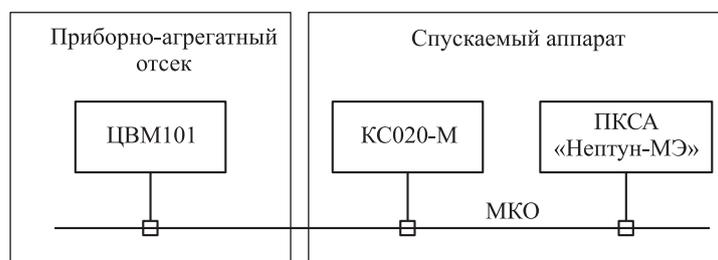


Рис. 2. Схема абонентов шины МКО спускаемого аппарата

ным компьютером непосредственно с этой шины невозможно, потому что для сопряжения планшета с шиной МКО необходима разработка уникального и дорогостоящего прибора, реализующего эту функцию. Обмен по МКО является синхронным и происходит в режиме жесткого реального времени. Это накладывает серьезные ограничения на абонентов шины. Операционные системы современных планшетных компьютеров не удовлетворяют этим ограничениям. Кроме того, не все данные, отображаемые на форматах пульта «Нептун-МЭ», передаются по шине МКО. Например, ряд аналоговых параметров, таких как давления и температуры, приходят на пульт непосредственно с датчиков и оцифровываются системой преобразования сигналов (СПС).

Таким образом, единственным вариантом получения данных является сопряжение с ПКСА по интерфейсам RS-232, которые в настоящий момент используются только при наземных испытаниях для передачи информации с пульта на испытательное оборудование. Другие интерфейсы RS-232 также используются для обмена информацией между ИнПУ1 и ИнПУ2 внутри ПКСА, но эта связь не может быть использована для взаимодействия с планшетами или маршрутизации потоков данных.

В ходе проработки схемы взаимодействия ПКСА и планшета было рассмотрено четыре варианта (рис. 3).

1. Проводное подключение с использованием конвертера RS-232 в USB (рис. 3, а).

2. Беспроводное подключение с использованием конвертера RS-232 в Bluetooth на примере устройства SENA Parani-SD1000 (рис. 3, б). Особенностью данной схемы является то, что конвертер должен быть спарен с конкретным планшетом и не может обеспечить одновременное взаимодействие с двумя планшетами.

3. Беспроводное подключение с использованием конвертера RS-232 в беспроводную сеть Wi-Fi и точки доступа Wi-Fi на примере конвертера MOXA NPort W2250-A и беспроводного маршрутизатора D-Link DAP-2690 (рис. 3, в). Рассматриваемый конвертер позволяет соединить заданный порт RS-232 с соединением TCP/IP, благодаря чему клиент сети Ethernet или Wi-Fi получит возможность двустороннего обмена с ИнПУ.

4. Беспроводное подключение с использованием специально разработанного устройства сопряжения, реализующего функции конвертера последовательных портов и точки доступа (рис. 3, г). Прототип этого устройства был разработан на базе одноплатного компьютера Utilite [15] и двух конвертеров RS-232 в USB.

**Методика исследования.** Каждая из приведенных схем может быть формализована с помощью графа  $G(X, M_X, W, U, M_U, D, A)$ , где  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  — множество вершин, которые сопоставляются с устройствами сети, а  $U = \{u_1, \dots, u_k\}$  — множество ребер, которые являются проводным или беспроводным соединением между устройствами. С множеством вершин графа сопоставляется множество их

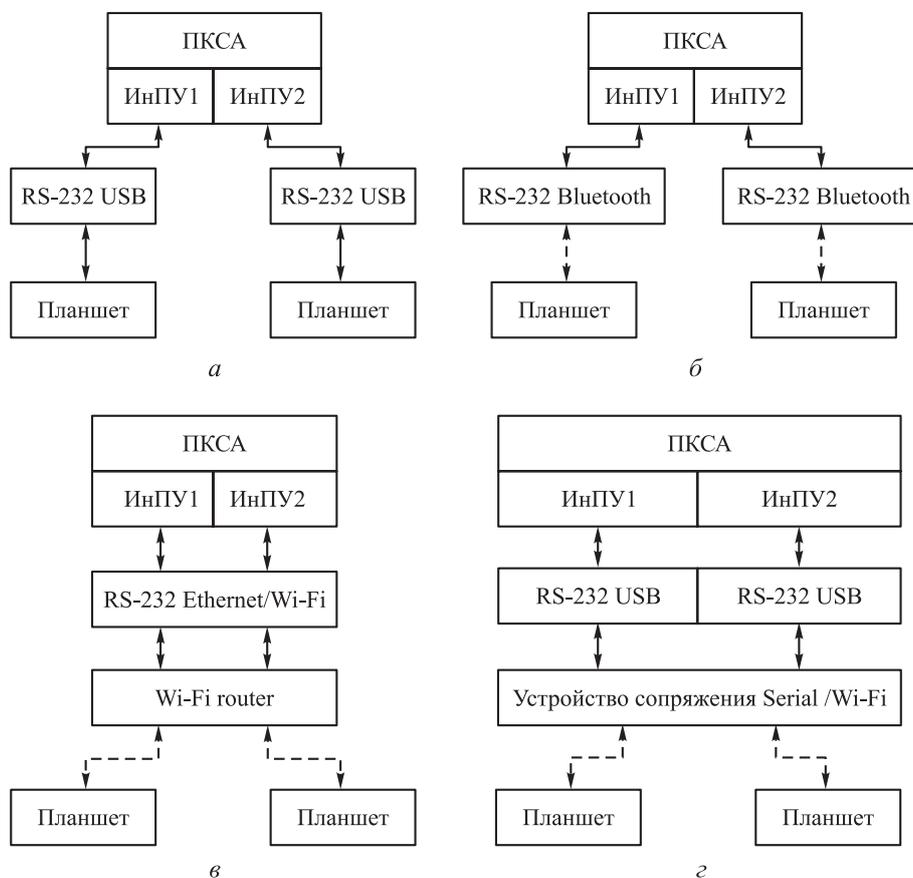


Рис. 3. Исследуемые схемы взаимодействия ПКСА с планшетным компьютером:

— проводное соединение; - - - - - беспроводное соединение

основных параметров  $M_X = \{m_{x_1}, \dots, m_{x_n}\}$  (массы устройств) и  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$  (потребляемые мощности). С множеством ребер сопоставлены множества  $M_U = \{m_{u_1}, \dots, m_{u_k}\}$  (массы соединений) и  $D = \{d_1, \dots, d_k\}$  (задержки при передаче информации между узлами, которые соединяют данное ребро);  $A$  — матрица инцидентности графа.

Следует отметить, что задержки могут возникать как в каналах передачи информации, так и в узловых устройствах, например, при преобразовании протоколов или маршрутизации. Но для упрощения измерений в используемой модели задержки будут связываться только с ребрами. Кроме того, в данной модели применяется неориентированный граф, так как все каналы передачи информации являются двунаправленными и симметричными.

Таким образом, масса схемы может быть вычислена по формуле

$$M(G) = \sum_{i=1}^n m_{x_i} + \sum_{i=1}^k m_{u_i},$$

где  $n$  — количество вершин графа;  $k$  — количество его ребер. Потребляемая мощность схемы

$$W(G) = \sum_{i=1}^n w_i.$$

Если на данном графе между вершинами  $x_1$  и  $x_l$  существует цепь  $S = (x_1, u_1, x_2, u_2, \dots, u_{l-1}, x_l)$ , то задержка передачи информации из  $x_1$  в  $x_l$

$$D(S) = \sum_{i=1}^{l-1} d_i.$$

Исходя из перечисленных свойств, критерий оптимальности схемы может быть определен следующим образом:

$$G(X, M_X, W, U, M_U, D, A): M(G) \rightarrow \min; \\ W(G) \rightarrow \min; D(S) \rightarrow \min$$

для цепей, соединяющих ИнПУ с планшетами.

То есть необходимо минимизировать массу и потребляемую мощность всей схемы и задержки при передаче информации от ИнПУ к планшету. Кроме того, для любой пары вершин  $(x_i, x_j)$  должна существовать цепь  $S(x_i, \dots, x_j)$ , т. е. граф должен быть связным. Это требование объясняется тем, что у каждого из членов экипажа может быть индивидуальный планшет, который должен иметь возможность получать информацию из любого ИнПУ. В ходе исследования массы и потребляемые мощности ИнПУ1 и ИнПУ2 учитываться не будут, так как являются одинаковыми для каждой из схем и не могут быть изменены.

Графы рассматриваемых схем приведены на рис. 4.

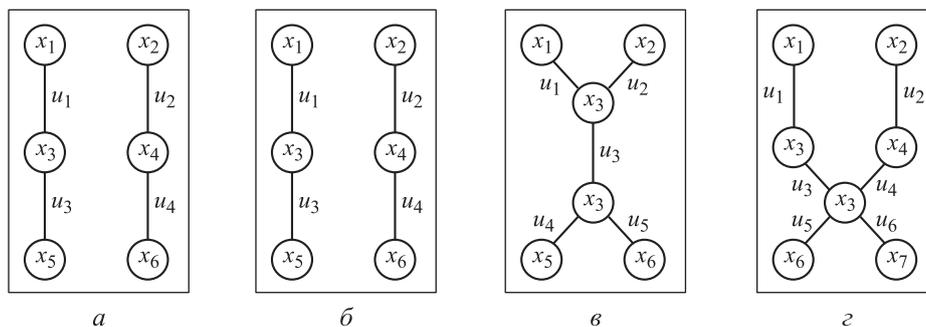


Рис. 4. Графы рассматриваемых схем подключения

Графы первых двух схем (рис. 4, а, б) не являются связными и не могут обеспечить связь любого планшета с любым ИнПУ. Таким образом, дальнейший интерес представляют схемы 3 и 4 (рис. 4, в, г). Приведенные далее характеристики устройств соответствуют спецификациям производителей или изменяются экспериментально.

Рассмотрим схему 3 (см. рис. 4, в). Множество масс устройств

$$M_X = \{0; 0; 1, 1; 0, 19; 0, 39; 0, 39\}.$$

Множество потребляемых устройствами мощностей

$$W = \{0; 0; 19, 2; 2, 4; 5; 5\}.$$

Множество масс соединений

$$M_U = \{0, 1; 0, 1; 0, 1; 0; 0\}.$$

Задержки на ребрах  $\{u_3, u_4, u_5\}$  определены экспериментально с помощью стандартной утилиты ring. Полученная этой утилитой величина делится на 2, так как необходимо оценить задержку только в одном направлении. Задержки на ребрах  $\{u_1, u_2\}$  вычислены для интерфейса RS-232 с установленной скоростью 115 200 бод (10 472 байт/с) и пакета данных длиной 64 байта (по аналогии со стандартным размером пакета ICMP):  $d = \frac{64}{10472} \approx 6,1$  мс. Таким образом, множество задержек в ребрах графа

$$D = \{6, 1; 6, 1; 5, 4; 4, 9; 4, 9\}.$$

Матрица инцидентности графа

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Мощности, потребляемые планшетами, оцениваются для случая их зарядки от напряжения 5 В током 1 А. Мощности и массы ИнПУ не учитываются, так как ИнПУ являются неотъемлемой частью схемы. Исходя из приведенных характеристик, можно определить функционалы качества данной схемы:

$$M(G) = 1, 1 + 0, 19 + 0, 39 + 0, 39 + 0, 1 + 0, 1 + 0, 1 = 2, 37 \text{ кг};$$

$$W(G) = 19, 2 + 2, 4 + 5 + 5 = 31, 6 \text{ Вт}.$$

Для цепи  $S = (x_1, u_1, x_3, u_3, x_4, u_4, x_5)$ :

$$D(S) = 6, 1 + 5, 4 + 4, 9 = 16, 4 \text{ мс}.$$

Перейдем к схеме 4 (см. рис. 4, г). Эта схема характеризуется следующими множествами параметров:

$$M_X = \{0,06; 0,06; 0,24; 0,39; 0,39\};$$

$$W = \{0; 0; 0,12; 0,12; 8; 5; 5\};$$

$$M_U = \{0,05; 0,05; 0,02; 0,02; 0; 0\};$$

$$D = \{6,1; 6,1; 1; 1; 5,3; 5,3\};$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Задержки на ребрах  $\{u_1, u_2\}$  были вычислены аналогично предыдущей схеме. Задержки на ребрах  $\{u_3, u_4\}$  вычислены для пропускной способности 0,5 Мбит/с (для устройства USB 2,0 Full-speed) и пакета данных длиной 64 байта:

$$d = \frac{64 \cdot 8}{500000} \approx 1 \text{ мс.}$$

Задержки на ребрах  $\{u_5, u_6\}$  определены экспериментально с помощью стандартной утилиты ping.

Функционалы качества данной схемы:

$$M(G) = 1,1 + 0,19 + 0,39 + 0,39 + 0,1 + 0,1 + 0,1 = 1,28 \text{ кг};$$

$$W(G) = 0,12 + 0,12 + 8 + 5 + 5 = 18,24 \text{ Вт}.$$

Для цепи  $S = (x_1, u_1, x_3, u_3, x_5, u_5, x_6)$ :

$$D(S) = 6,1 + 1 + 5,3 = 12,4 \text{ мс}.$$

Из приведенных вычислений следует, что для штатного использования на борту ТПК наиболее предпочтительным является вариант организации взаимодействия ПКСА с планшетом с использованием специального устройства сопряжения (вариант 4). Эта схема имеет меньшую массу, меньшую потребляемую мощность и обеспечивает меньшие задержки при передаче данных. Она позволит получить наибольшую гибкость, контроль и предоставляет возможность более тонкой настройки процесса взаимодействия.

Следует отметить, что, с одной стороны, используемый в беспроводных сетях Wi-Fi стандарт шифрования WPA2 при правильной настройке и использовании длинного и несловарного пароля считается надежным [16]. С другой стороны, исследования показали наличие проблем с безопасностью беспроводных сетей Bluetooth, достаточно полный обзор которых сделан в работе [17].

**Проведение эксперимента.** Во время стендовой отработки прототипа планшетного интерфейса были проверены две схемы подключения: с использо-

ванием прототипа устройства сопряжения на базе компьютера Utilite и с использованием коммутатора и точки доступа, что позволило быстро оценить возможности предлагаемых схем на практике. Тракт информационного взаимодействия ИнПУ с планшетом представлен на рис. 5. Как было сказано, коммутатор взаимодействует с ИнПУ путем кабельного соединения по сети RS-232. Программное обеспечение коммутатора или устройства сопряжения реализует TCP-сервер, который обслуживает подключения клиентского ПО планшета. Каждый пакет данных, записываемый ПО ИнПУ в порт RS-232, принимается и в неизменном виде передается во все установленные TCP-соединения (если к серверу подключен хотя бы один клиент). Аналогичным образом происходит передача данных в обратную сторону: TCP-сервер, получив данные от клиента, в неизменном виде направляет их в порт RS-232, откуда их считывает ПО ИнПУ. Этот процесс является одинаковым как для схемы с отдельным коммутатором и точкой доступа, так и для схемы с одним устройством сопряжения.

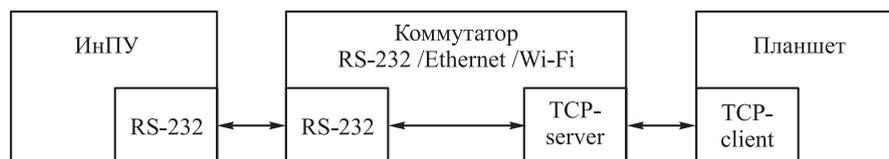
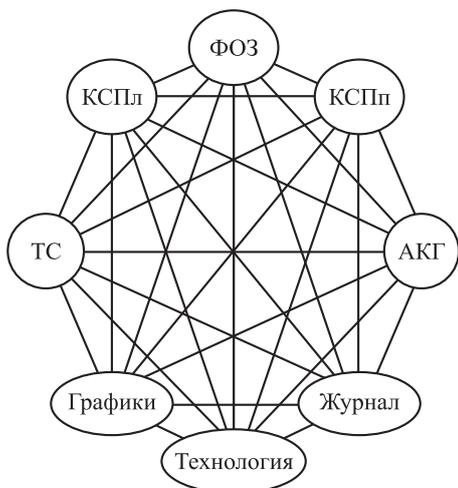


Рис. 5. Схема тракта информационного взаимодействия ИнПУ с планшетом

Определив оптимальную схему взаимодействия с ИнПУ, перейдем к вопросу создания действующего прототипа программного обеспечения, позволяющего получить и отобразить на экране планшета данные о состоянии корабля. Основные возможности, которые должны обеспечиваться прототипом интерфейса планшетного компьютера, следующие.

1. Отображение текущего состояния таблицы аналоговых параметров бортовых систем (давления, температуры и т. п.) и уровня топлива; эта функция соответствует формату «Форма 3» интерфейса ИнПУ.
2. Хранение истории изменения аналоговых параметров и уровня топлива в базе данных и отображение графиков изменения этих величин во времени.
3. Отображение текущего состояния матрицы командно-сигнального поля (КСП).
4. Отображение текущего состояния аварийных, предупредительных и информационных сигнальных табло (ТС).
5. Отображение состояния процесса автоматического контроля герметичности (АКГ).
6. Отображение журнала событий ИнПУ.

В дальнейшем при разработке экспериментального образца планшетного интерфейса перечисленный набор возможностей может быть расширен. Следует отметить, что во многом перечисленные задачи схожи с требованиями к системе отображения информации скафандра, изложенными в работе [18].



**Рис. 6.** Граф переходов между вкладками интерфейса

Программное обеспечение было разработано с применением инструментария Qt5 [19]. Общая концепция интерфейса и цветовая гамма были выбраны в соответствии с существующим интерфейсом ИнПУ, чтобы космонавт, работая с ИнПУ и планшетом, находился в схожих интерфейсных средах и прикладывал минимум мыслительных усилий для переключения внимания с одного устройства на другое. Граф переходов между вкладками интерфейса является полным, т. е. допускает переключение с каждой вкладки на любую другую (рис. 6).

Вкладки интерфейса представлены следующим набором.

1. Вкладка «ФОЗ» (рис. 7, а) осуществляет отображение таблицы аналоговых параметров и полностью соответствует формату «Форма 3» интерфейса ИнПУ (рис. 7, б).

2. Вкладки КСПл (рис. 8, а) и КСПп (рис. 9, а) отображают правую и левую части командно-сигнального поля и служат для индикации состояния бортовых систем. В интерфейсе ИнПУ (рис. 8, б и 9, б) эти поля служат также для выдачи команд в бортовые системы, но на данном этапе от выдачи команд с планшета принято решение отказаться. Это связано с необходимостью проверок качества информационно-логического взаимодействия планшета с ИнПУ, а также дополнительного исследования человекомашинного взаимодействия с использованием планшетного компьютера в условиях космического полета для минимизации вероятности ошибок оператора.

3. Вкладка ТС (рис. 10, а) с индикаторами особо важных сигналов трех классов: аварийных, предупредительных и уведомительных. В ПКСА эта индикация проводится аппаратными транспарантами (рис. 10, б).

4. Вкладка «Графики» (рис. 11, а) позволяет наблюдать процесс изменения выбранной переменной во времени. Эта функция не имеет прямого аналога в интерфейсе ИнПУ и расширяет его возможности.

5. Вкладка «Журнал» (рис. 11, б) позволяет просматривать текстовые сообщения о ходе работ бортовых систем и оператора. Эти события сохраняются в файле на диске ИнПУ и отражены на формате «Журнал».

6. Вкладка «АКГ» отображает процесс автоматического контроля герметичности ТПК. Эта функция аналогична формату «АКГ» ИнПУ.

7. Вкладка «Технология» позволяет оценить качество тракта информационного обмена с ИнПУ, скорость обмена данных, число ошибок контрольных сумм и т. п.

14:18:08.700  
Топливо: 933

Источник параметров

По умолчанию СПС МБИТС СЗИ

ШИФР	ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	ШИФР	ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	ШИФР	ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
1	Rn2o	0.0	12	R6o	1107.1	23	Rнадд-2	0.0
2	Pco2	0.0	13	Tпо	-234.7	24	Rок-1	0.0
3	Ро2	0.0	14	Роб		25	Rг-1	0.0
4	Tж	-234.7	15	Rпо	1631.0	26	Rшб-1	0.0
5	Ро2-1	0.0	16	Рсу	1094.3	27	Ро2-3	0.0
6	Ро2-2	0.0	17	Rок-2	0.0	28	Rкжор	0.0
7	Rкжор	0.0	18	Rг-2	0.0	29	Isб	1.1
8	Rкнр	0.0	19	Rшб-2	0.0	30	Inagr	-2.1
9	Tca	-234.7	20	Rпер-1	0.0	31	Rфо	0.0
10	T6o	-235.0	21	Rпер-2	0.0	32	Rфг	0.0
11	Rca	1083.3	22	Rнадд-1	0.0	33	Rкнр-р	0.0

ФОЗ КСПл КСПп ТС Графики Журнал АКГ Технология

СПС | Есть обмен с ИНПУ

а

ФОЗ 2Ф39 12:05:46

ТОПЛИВО 111 СЕКУНДОМЕР 0:00:00.0

ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ (T\_Ж=222.220)

ПАРАМЕТР В ДОПУСКЕ (P\_CO2=0.000)

NET СВЯЗИ С БВС

Rca = 1083 Isб = 0.0 Inagr = 0.0

ШИФР	ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	ШИФР	ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	ШИФР	ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
1	Rn2o	0.0	12	R6o	0	23	Rнадд-2	0
2	Pco2	0.0	13	Tпо		24	Rок-1	0.0
3	Ро2	0	14	Роб		25	Rг-1	0.0
4	Tж		15	Rпо	0	26	Rшб-1	0
5	Ро2-1	0	16	Рсу	1094	27	Ро2-3	0
6	Ро2-2	0	17	Rок-2	0.0	28	Rкжор	
7	Rкжор	0	18	Rг-2	0.0	29	Isб	0.0
8	Rкнр	0	19	Rшб-2	0	30	Inagr	0.0
9	Tca		20	Rпер-1	0.0	31	Rфо	0.0
10	T6o		21	Rпер-2	0.0	32	Rфг	0.0
11	Rca	1083	22	Rнадд-1	0	33	Rкнр-р	

Б.СИСТ Ф1 КДУ СПГС СКГС СТР СЭП ССВП РТС ТВС ФОЗ

Полёт СПС

б

Рис. 7. Формат «ФОЗ» планшета (а) и ИнПУ (б)

18:49:01.700										ОТБОЙ ЗВУКА			СКРИНШОТ																						
Топливо: 1232																																			
А	КРЫШКА СКД ОТКР	НАДДУВ КДУ	СДР ОТКЛ	СДД ОТКЛ	ВЫБОР ДПО К1+К2	ВЫБОР ДПО К1	ВЫБОР ДПО К2	ОБЪЕДИН ТОПЛИВА СКД																											
В	ВЫБОР 1 СЕКЦИИ НАДДУВА	ВЫБОР 1 СЕКЦИИ КДУ	ПОДГОТ ОСВП	РУД			СНЯТИЕ БЛОКИР ПН КДУ	РЕЗЕРВ ПОДГОТ ИП	ВИЗИР ПРИЧАЛ																										
Г	ОБОГРЕВ АНТЕНН	ДИСПЛЕЙ ТРАНСЛЯЦИЯ	ВЫБОР ДПО Б1+Б2	ОБЪЕДИН КОМПЛЕКТ КДУ	КУРС 1	КУРС 2	ВЫКЛ КУРС	ОБЪЕДИН СЕКЦИИ КДУ	ЗАЩЕЛКИ ВТЯН																										
Д	ОБЪЕДИН ПИТАНИЕ	ПОДЗАРЯД	ПОДГОТ РЕЗЕРВ РАССТЫК	ОСВП	ШТАНГА СМ ВЫДВ	ШТАНГА СМ ВТЯН	ЗАЩЕЛКИ ВЫДВ	КРЮКИ ЗАКР	КРЮКИ ОТКР																										
Ж	СЕАНС СВЯЗИ				ОТБОЙ ПРОГРАММ	ПРОГР 9	БДУС1-1	БДУС1-2	БДУС1-3	ПИТ РВУ																									
И	ЗАПРЕТ ДИНАМ РЕЖ	АКСЕЛЕРО МЕТР	ПИТ СУДН	ВЫБОР АК			ПУСК СУДН	ОТБОЙ ДИНАМ РЕЖИМА																											
К	ИКВ	ВЫБОР ИКВ2	ТАНГАЖ РАЗГОН	ТАНГАЖ ТОРМОЖ	ВЫБОР БДУС1-2	РРЖ 4°С	ВЫБОР БДУС1-3	ПРИЧАЛ	РУО ИМП																										
Л	РО ДК	ПОДГОТ РЕЖИМА СТАБИЛ	УПРАВЛ СПУСК	СГ	ТМУС	РУС ПО ТД	РРЖ 8°С	РРЖ 16°С	РО АК																										
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
ФОЗ КСПл										КСПл		ТС		Графики		Журнал		АКГ		Технология															
															СПС			Есть обмен с ИнПУ																	

а

КСПл 2Ф41		13:59:46		ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ (P_СГ-1=0.000)				ЖУРНАЛ НАЧАТ В ФАЙЛЕ 00000a.log				НЕТ СВЯЗИ С БВС																							
ТОПЛИВО 111		СЕКУНДОМЕР 0:00:00.0		13:59:46				13:59:46				Pca = 0 Isb = 0.0 A Inagr = 0.0 A																							
А	КРЫШКА СКД ОТКР	НАДДУВ КДУ	СДР ОТКЛ	СДД ОПЛ	ВЫБОР ДПО К1+ К2	ВЫБОР ДПО К1	ВЫБОР ДПО К2	ОБЪЕДИН ТОПЛИВА СКД																											
В	ВЫБОР 1 СЕКЦИИ НАДДУВА	ВЫБОР 1 СЕКЦИИ КДУ	ПОДГОТ ОСВП	РУД			СНЯТИЕ БЛОКИР ПН КДУ	РЕЗЕРВ ПОДГОТ ИП	ВИЗИР ПРИЧАЛ																										
Г	ОБОГРЕВ АНТЕНН	ДИСПЛЕЙ ТРАНСЛЯЦИЯ	ВЫБОР ДПО Б1+ Б2	ОБЪЕДИН КОМПЛЕКТ КДУ	КУРС 1	КУРС 2	ВЫКЛ КУРС	ОБЪЕДИН СЕКЦИИ КДУ	ЗАЩЕЛКИ ВТЯН																										
Д	ОБЪЕДИН ПИТАНИЕ	ПОДЗАРЯД	ПОДГОТ РЕЗЕРВ РАССТЫК	ОСВП	ШТАНГА СМ ВЫДВ	ШТАНГА СМ ВТЯН	ЗАЩЕЛКИ ВЫДВ	КРЮКИ ЗАКР	КРЮКИ ОТКР																										
Ж	СЕАНС СВЯЗИ				ОТБОЙ ПРОГРАММ	ПРОГР 9	БДУС1-1	БДУС1-2	БДУС1-3	ПИТ РВУ																									
И	ЗАПРЕТ ДИНАМ РЕЖ	АКСЕЛЕРО МЕТР	ПИТ СУДН	ВЫБОР АК			ПУСК СУДН	ОТБОЙ ДИНАМ РЕЖИМА																											
К	ИКВ	ВЫБОР ИКВ2	ТАНГАЖ РАЗГОН	ТАНГАЖ ТОРМОЖ	ВЫБОР БДУС1-2	РРЖ 4°С	ВЫБОР БДУС1-3	ПРИЧАЛ	РУО ИМП																										
Л	РО ДК	ПОДГОТ РЕЖИМА СТАБИЛ	УПРАВЛ СПУСК	СГ	ТМУС	РУС ПО ТД	РРЖ 8°С	РРЖ 16°С	РО АК																										
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
Р.СОИ		Ф1		КСПл		2 КСПл		3 ИП		4 ИНК		5 ВНО		6 ПРВИ		8 ИПП		9 ВРЕМЯ		0 ↓															
Полёт										СПС																									

б

Рис. 8. Формат «КСПл» планшета (а) и ИнПУ (б)

02:33:55.800												ОТБОЙ ЗВУКА		СКРИНШОТ					
Топливо: 222																			
Б	АВТОМАТ СЭП ОТКЛ	ББ ОТКЛ	СБ1 ОТКЛ	СБ2 ОТКЛ	СБ ЛЕВ ОТКЛ	СБ ПО ДН	ПИТАНИЕ ТД	ДЕЖ РЕЖ ЕКТС											
Н	ПОДГОТ УКВ ПРД ОСН	УКВ ПРМ Д	УКВ ПРМ С	ПИТАНИЕ АВТОМАТ РАССВЕТ	ВОСПР СЗИ	ПОИСК СЗИ	ДУПЛЕКС ВПУ	ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА											
П	ПОДГОТ УКВ ПРД РЕЗ	РЕЗЕРВ УКВ ПРМ	ШУМО ПОДАВИТ	РЕЗЕРВ АКК	ПЕЛЕНГ	РАСКР ДОН АНТ РАЗРЕШ	МБС												
Р	БЛИЗКИЙ СВЕЛ	ТЛФ ЕКТС	ТВ ПЕРЕСВЕТ	ШИРОК ОБЪЕКТ УЗК	ТВ СТЫК	ТВ СА	ПОДКЛ ТЕЛЕКАМ2 СА	ПРД КЛЕС-М											
С	КСД СУ	КВД БО-СУ	КВД СУ-ОБ	КСД БО ЗАКР	ВЕНТ2 ХСА БО ОТКЛ	ПЕРЕХОД ЛЮК ЗАКР	ЭП РАЗ СОСЫК (ОПРОС)	РЕЗЕРВ ССВП	ФАРА										
Т	ТЛФ СЗИ	ВЕНТ1 ХСА БО ОТКЛ	ГАЗОАНАЛИЗ	ДСД ОТКЛ			БЛОКИР КЛАП РРЖ СНЯТА	СВЕТОВОЙ МАЯК											
У		ВЕНТ1 ХСА СА ОТКЛ	ВЕНТ2 ХСА СА ОТКЛ	ОБОГРЕВ ДПО	ОБОГРЕВ КЖО	РРЖ ЗАКР	ЭНА 2 ОТКЛ	ПИРО КЛАПАН РРЖ	ПОСТОЯН СИСТЕМ										
Ф	АСП	АВТОМАТ КСС	ВЕНТ СКАФ БИ	ВЕНТ СКАФ КК	ВЕНТ СКАФ КИ			НАСОС КВО	ВЕНТ ДЫХАТ										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ФОЗ		КСПл	КСПл	ТС	Графики	Журнал	АКГ	Технология											
СПС																Есть обмен с ИнПУ			

а

КСПл 2Ф42		14:51:24		ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ (P_СГ-1=0.000)		ЖУРНАЛ НАЧАТ В ФАЙЛЕ 00000a.log		Pca =		Исб = А		А		А					
111		13:59:46		19		13:59:46		01											
Б	АВТОМАТ СЭП ОТКЛ	ББ ОТКЛ	СБ1 ОТКЛ	СБ2 ОТКЛ	СБ ЛЕВ ОТКЛ	СБ ПО ДН	ПИТАНИЕ ТД	ДЕЖ РЕЖ ЕКТС											
Н	ПОДГОТ УКВ ПРД ОСН	УКВ ПРМ Д	УКВ ПРМ С	ПИТАНИЕ АВТОМАТ РАССВЕТ	ВОСПР СЗИ	ПОИСК СЗИ	ДУПЛЕКС ВПУ	ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА											
П	ПОДГОТ УКВ ПРД РЕЗ	РЕЗЕРВ УКВ ПРМ	ШУМО ПОДАВИТ	РЕЗЕРВ АКК	ПЕЛЕНГ	РАСКР ДОН АНТ РАЗРЕШ	МБС												
Р	БЛИЗКИЙ СВЕЛ	ТЛФ ЕКТС	ТВ ПЕРЕСВЕТ	ШИРОК ОБЪЕКТ УЗК	ТВ СТЫК	ТВ СА	ПОДКЛ ТЕЛЕКАМ2 СА	ПРД КЛЕС-М											
С	КСД СУ	КВД БО-СУ	КВД СУ-ОБ	КСД БО ЗАКР	ВЕНТ2 ХСА БО ОТКЛ	ПЕРЕХОД ЛЮК ЗАКР	ЭП РАЗ СОСЫК (ОПРОС)	РЕЗЕРВ ССВП	ФАРА										
Т	ТЛФ СЗИ	ВЕНТ1 ХСА БО ОТКЛ	ГАЗОАНАЛИЗ	ДСД ОТКЛ			БЛОКИР КЛАП РРЖ СНЯТА	СВЕТОВОЙ МАЯК											
У		ВЕНТ1 ХСА СА ОТКЛ	ВЕНТ2 ХСА СА ОТКЛ	ОБОГРЕВ ДПО	ОБОГРЕВ КЖО	РРЖ ЗАКР	ЭНА 2 ОТКЛ	ПИРО КЛАПАН РРЖ	ПОСТОЯН СИСТЕМ										
Ф	АСП	АВТОМАТ КСС	ВЕНТ СКАФ БИ	ВЕНТ СКАФ КК	ВЕНТ СКАФ КИ			НАСОС КВО	ВЕНТ ДЫХАТ										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P.СОИ		Ф1	КСПл	КСПл	3	ИП	4	ИНК	БНО	ПРВИ	ИПП		ВРЕМЯ	↓					
СПС																			

б

Рис. 9. Формат «КСПл» планшета (а) и ИнПУ (б)

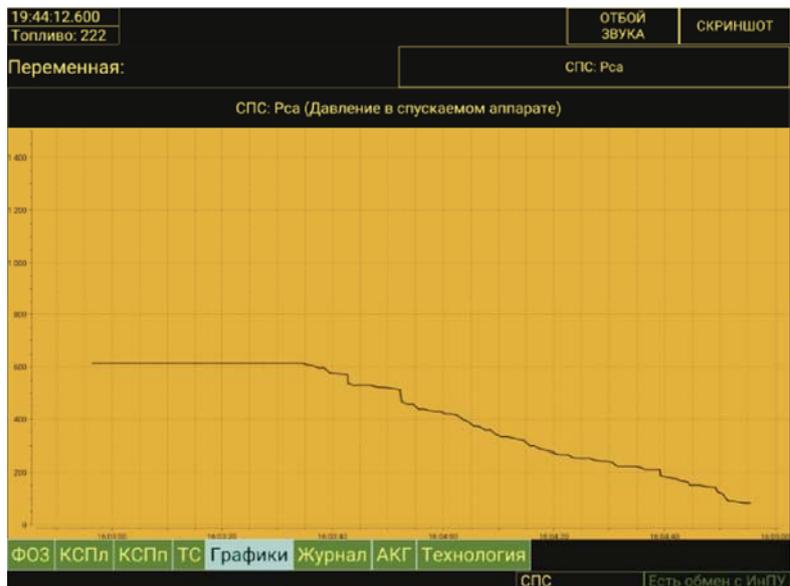
19:37:52.600				ОТБОЙ ЗВУКА		СКРИНШОТ	
Топливо: 222							
ТС-1		ТС-2		ТС-3		ТС-4	
АВАРИЯ НОСИТЕЛЯ	СРАБОТАЛ ТД	Рса ПАДАЕТ	Р 400 ММ РТ СТ	РАЗГЕРМ ПОДГОТ	АВАРИЯ ЦВМ	ПРИЗНАК СПУСК	СПУСК по ГЦ
		РАЗГЕРМ СА	СОСТАВ ВОЗДУХА	РАЗДЕЛЕН по ГЦ	ПРОГР РАЗДЕЛЕН	СГ РАЗАРР	ВЫБОР ДПО
Рпо ПАДАЕТ	ОТКАЗ БВС	РАЗГЕРМ КЖО	РАЗГЕРМ КНР	ОТКРЫТ КСД БО	ТД ПОДКЛ	РАБОТА ДПО	РАБОТА СКД
ТС-5		ТС-6		ТС-7		ТС-8	
БС	ВЫЗОВ НА СВЯЗЬ	ВВОД ЗСП	РБ ПОДКЛ	БВС ГОТОВ	2 СЕКЦИЯ НАДДУВА	РО АК	РУД
БСР	РАЗРЕШ РРСТ	ОТКАЗ очист СА	ОТКАЗ очист БО	ОСК	2 СЕКЦИЯ КДУ	ВВОД ОСП	УКВ ПЕРЕДАЧА
ЗАКРУТКА СА	U мало	ПОСАДКА	ОСТАНОВ КС-020	ГСО	СА-БО ЛЮК ОТКР	ПОДАЧА О2	МЕХАН СОЕДИН
ФОЗ   КСПл   КСПп   ТС   Графики   Журнал   АКГ   Технология				СПС   Есть обмен с ИНПУ			

а



б

Рис. 10. Вкладка «ТС» планшета (а) и панели индикаторов ТС ПКСА (б)



а

НОМЕР	ВРЕМЯ	ТИП	НАЗВАНИЕ	КОД
93368	06:00:17.124	АНАЛОГ	U_ш1+2.576725 УБЫВАЕТ (2175, 0.321123)	15
93369	06:00:17.947	АНАЛОГ	P_CA+501.240112 УБЫВАЕТ (3098, 2.577969)	15
93370	06:00:17.948	АНАЛОГ	U_ш1+4.869323 УБЫВАЕТ (1799, -0.606838)	15
93371	06:00:56.343	АНАЛОГ	P_CA+285.327118 УБЫВАЕТ (2696, 1.591445)	15
93372	06:00:56.345	АНАЛОГ	U_ш1+11.472793 УБЫВАЕТ (1462, 1.429792)	15
93373	06:00:57.121	АНАЛОГ	P_CA+270.291412 УБЫВАЕТ (2666, 1.522732)	15
93374	06:00:57.128	АНАЛОГ	U_ш1+12.668079 УБЫВАЕТ (1401, -1.578755)	15
93375	06:00:58.736	ЗВУК	ОТКЛЮЧЕНИЕ ЗВУКА. ИСТОЧНИК	0
93376	06:00:58.737	ТЛМ	ВЫДАН ТМ КОД 492 (0x104)	0
93377	06:00:58.739	СООБЩ ВКЛ	ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ (P_CA+294.754)	843
93378	06:00:58.740	ЗВУК	АВАРИЙНЫЙ ЗВУК	1
93379	06:00:58.740	ТЛМ	ВЫДАН ТМ КОД 448 (0x100)	0
93380	06:00:58.744	ЗВУК	ОТКЛЮЧЕНИЕ ЗВУКА. ОТБОЙ ЗВУКА (АППАРАТНО)	0
93381	06:00:58.745	ТЛМ	ВЫДАН ТМ КОД 493 (0x103)	0
93382	06:00:57.536	СООБЩ ВКЛ	ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ (P_CA+279.291)	843
93383	06:00:52.536	ЗВУК	АВАРИЙНЫЙ ЗВУК	1
93384	06:00:59.537	ТЛМ	ВЫДАН ТМ КОД 448 (0x100)	0
93385	06:00:59.539	ЗВУК	ОТКЛЮЧЕНИЕ ЗВУКА. ОТБОЙ ЗВУКА (АППАРАТНО)	0
93386	06:00:59.539	ТЛМ	ВЫДАН ТМ КОД 451 (0x103)	0
93387	06:01:00.320	АНАЛОГ	P_CA+442.127899 ВОЗРАСТАЕТ (2988, 2.308225)	15
93388	06:01:00.323	АНАЛОГ	U_ш1+8.396399 ВОЗРАСТАЕТ (1619, 1.046398)	15
93389	06:01:01.119	АНАЛОГ	P_CA+905.719055 ВОЗРАСТАЕТ (3809, 4.922791)	15
93390	06:01:01.120	АНАЛОГ	U_ш1+6.338938 ВОЗРАСТАЕТ (2371, 0.789488)	15
93391	06:01:01.919	АНАЛОГ	P_CA+921.056824 ВОЗРАСТАЕТ (3835, 4.386596)	15
93392	06:01:01.920	АНАЛОГ	U_ш1+8.278830 ВОЗРАСТАЕТ (2470, 1.031746)	15
93393	06:01:02.735	ЗВУК	ОТКЛЮЧЕНИЕ ЗВУКА. ИСТОЧНИК	0

б

Рис. 11. Вкладка «Графики» (а) и «Журнал» (б) планшета

На этапе стендовых испытаний этого набора вкладок достаточно для анализа возможностей планшетных интерфейсов в составе комплекса управления ТПК «Союз-МС» и перспективных пилотируемых космических аппаратов.

**Результаты эксперимента.** Проведенный эксперимент позволил сделать оценки некоторых характеристик качества тракта передачи данных. Так, при замыкании контактов RX и TX интерфейса RS-232 со стороны ПКСА (рис. 12) стало возможно оценить задержку эхо запроса (аналогично ping).

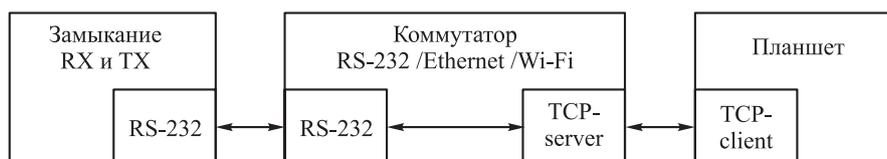


Рис. 12. Схема для оценки задержек в тракте обмена

Программа, исполняемая на планшете, записывала в канал 64 байта (аналогично стандартной длине пакета утилиты ping), которые, пройдя через весь тракт, возвращались назад тем же путем. При подключении через коммутатор и точку доступа (см. рис. 3, в) минимальный интервал между передачей и приемом данных составил 12 мс, максимальный — 38 мс, средний — 17,8 мс. При подключении через прототип устройства сопряжения (см. рис. 3, г) минимальный интервал составил 8 мс, максимальный — 22 мс, средний — 11,7 мс. Таким образом, подключение по схеме с устройством сопряжения вносит в 1,5 раза меньшие задержки, чем в схеме с коммутатором и точкой доступа. Величины этих задержек хорошо соответствуют теоретическим значениям, вычисленным для графов схем.

Фактические задержки при отображении данных на экране планшета по сравнению с экраном ИнПУ включают в себя также время на обработку и отображение информации планшетом. Эти задержки составили не более одной секунды, что является приемлемым и не доставляет дискомфорта оператору. За 8 ч испытаний не было зафиксировано ни одной потери и нарушений контрольной суммы пакета. Кроме того, было определено значение вариации интервала между последовательными пакетами (джиттера), вычисленного в соответствии с рекомендациями [20] по формуле экспоненциального фильтра

$$Jitter = Jitter_{old} \frac{15}{16} + |Jitter_{new}| \frac{1}{16},$$

где  $Jitter_{old}$  — значение джиттера на предыдущем шаге измерений;  $Jitter_{new}$  — разность между интервалами получения пакетов на текущем и предыдущем шагах. Это значение было определено для временных меток получения пакетов, содержащих матрицу дискретных признаков УСО, которая передается из ИнПУ в планшет каждые 200 мс. При подключении через коммутатор и точку доступа значение джиттера составило 60 мс, что является существенным по отношению

к интервалу получения пакетов. При подключении через прототип устройства сопряжения значение джиттера составило 20 мс. Большое значение джиттера по сравнению с вариацией задержек в тракте объясняется тем, что задача записи данных в канал RS-232, исполняемая на ИнПУ, выполняется с низким приоритетом и время ее выполнения жестко не определено. Тем не менее в среднем значение интервала (200 мс) сохраняется и визуально неравномерность отображения потока данных не наблюдается.

**Заключение.** Проведенные работы показали практическую возможность разработки планшетных интерфейсов космонавта и определили комплекс методов и средств взаимодействия планшета с ПКСА «Нептун-МЭ». На следующем этапе будут проводиться разработка бортового устройства сопряжения планшета с ПКСА, разработки штатного программного обеспечения планшета, дальнейшего расширения его функциональных возможностей и проведения лётных испытаний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ghadage A., Kadam R., Kamathe P., Bhuvad P. Industrial automation using mobile SCADA // International Journal of Technical Research and Applications. 2016. Spec. Iss. 39. P. 36–38.
2. Selvam M. Smart phone based robotic control for surveillance applications // IJRET. 2014. Vol. 3. No. 3. P. 229–232. DOI: 10.15623/ijret.2014.0303043  
URL: <http://esatjournals.net/ijret/2014v03/i03/IJRET20140303043.pdf>
3. Годовиченко Н.А., Адаменко Д.О. Проводной модуль управления системой «умный дом» на базе планшета под управлением ОС Android // Электротехнические и компьютерные системы. 2015. № 18. С. 43–48.
4. Irizarry J., Gheisari M., Walker B.N. Usability assessment of drone technology as safety inspection tools // Journal of Information Technology in Construction. 2012. Vol. 17. P. 194–212.
5. Lin J.-S., Jiang Z.-Y. Implementing remote presence using quadcopter control by a non-invasive BCI device // Computer Science and Information Technology. 2015. Vol. 3. No. 4. P. 122–126. DOI: 10.13189/csit.2015.030405  
URL: [http://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=2540](http://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=2540)
6. Корвяков В.П. Перспективный интерфейс «человек–машина» для управления пилотируемым космическим аппаратом на базе планшетных компьютеров // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 10. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-10-1097  
URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/1097.html>
7. Корвяков В.П. Разработка макета интерфейса «человек–машина» для планшетного компьютера корабля Союз ТМА-М // Тезисы докладов XX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Королёв, РКК «Энергия», 2014.
8. Кapsула «Союза» приземлилась в Казахстане // Российская газета: Интернет-портал. URL: <https://rg.ru/2016/03/02/kapsula-soiuza-s-kosmonavtami-prizemlilas-v-kazahstane.html> (дата обращения: 10.01.2017).
9. Муртазин Р.Ф. Схемы ускоренного доступа к орбитальной станции для современных космических кораблей // Космические исследования. 2014. Т. 52. № 2. С. 162–175.

10. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 245 с.
11. Ильин А. «Союз ТМА» стал современным // Новости космонавтики. 2010. № 12. С. 14–17.
12. Легостаев В.П., Марков А.В., Сорокин И.В. Целевое использование Российского сегмента МКС: значимые научные результаты и перспективы // Космическая техника и технологии. 2013. № 2. С. 3–18.
13. ГОСТ 14254–96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками. (Код IP). М.: Стандартинформ, 2008. 35 с.
14. Сухотерин А., Дунин А., Козлов А. Применение защищенных планшетных персональных компьютеров (ПК) в специальных условиях // Информационно-технологический вестник. 2014. № 2. С. 124–129.
15. IMX6 ARM Linux Mini PC|Utilite // Utilite: веб-сайт компании.  
URL: <http://www.compulab.co.il/utilite-computer/web/utilite-overview> (дата обращения: 10.01.2017).
16. Vulnerabilities of Wireless Security protocols (WEP and WPA2) / V. Kumkar, A. Tiwari, P. Tiwari, A. Gupta, S. Shrawne // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. 2012. Vol. 1. No. 2. P. 34–38.
17. Minar N.B.N.I., Tarique M. Bluetooth security threats and solutions: a survey // IJDPS. 2012. Vol. 3. No. 1. P. 127–148.
18. Проектирование системы отображения информации скафандра для внекорабельной деятельности / А.Ю. Калери, С.В. Бронников, Ю.А. Бубеев, А.С. Рожков, Г.Ф. Исаев // Космическая техника и технологии. 2015. № 3. С. 81–88.
19. Qt. Cross-platform software development for embedded & desktop // Qt: веб-сайт компании.  
URL: <https://www.qt.io/> (дата обращения: 10.01.2017).
20. RFC 3393. IP packet delay variation metric for IP performance metrics (IPPM) // IETF Tools: веб-сайт. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3393> (дата обращения: 10.01.2017).

**Корвяков Владимир Петрович** — аспирант, инженер-программист 2-й категории Научно-технического центра ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (Российская Федерация, 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Корвяков В.П. Разработка прототипа планшетного интерфейса «человек–машина» для транспортного пилотируемого корабля «Союз-МС» // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 6. С. 93–114. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-6-93-114

**PROTOTYPING A TABLET-BASED USER INTERFACE  
FOR THE MANNED SOUZY MS SPACECRAFT**

**V.P. Korvyakov**

[vladimir.korviakov@gmail.com](mailto:vladimir.korviakov@gmail.com)

**S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, Korolev,  
Moscow Region, Russian Federation**

### Abstract

The article resumes the work on integrating a mobile user interface based on a tablet computer into the control system of manned spacecraft. We consider various diagrams of implementing the information flow between a tablet and onboard systems of the manned Soyuz MS vehicle and choose the optimum option. We describe a prototype graphical user interface we developed for the astronaut's tablet and compare it to the existing interface of the astronaut control panel installed in the lander. We list estimations of data transmission path characteristics

### Keywords

Tablet computer, user interface, spacecraft Soyuz MS

Received 17.01.2017

© BMSTU, 2017

---

### REFERENCES

- [1] Ghadage A., Kadam R., Kamathe P., Bhuvad P. Industrial automation using mobile SCADA. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2016, spec. iss. 39, pp. 36–38.
- [2] Selvam M. Smart phone based robotic control for surveillance applications. *IJRET*, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 229–232. DOI: 10.15623/ijret.2014.0303043  
Available at: <http://esatjournals.net/ijret/2014v03/i03/IJRET20140303043.pdf>
- [3] Godovichenko N.A., Adamenko D.O. Wired control module for "smart house" system based on Android tablet electrotechnic and computer systems. *Elektrotekhnicheskie i komp'yuternye sistemy*, 2015, no. 18, pp. 43–48 (in Russ.).
- [4] Irizarry J., Gheisari M., Walker B.N. Usability assessment of drone technology as safety inspection tools. *Journal of Information Technology in Construction*, 2012, vol. 17, pp. 194–212.
- [5] Lin J.-S., Jiang Z.-Y. Implementing remote presence using quadcopter control by a non-invasive BCI device. *Computer Science and Information Technology*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 122–126. DOI: 10.13189/csit.2015.030405  
Available at: [http://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=2540](http://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=2540)
- [6] Korvyakov V.P. Tablet computer application as prospective man-machine interface for manned space vehicle control. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2013, no. 10 (in Russ.). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-10-1097  
Available at: <http://engjournal.ru/catalog/it/nav/1097.html>
- [7] Korvyakov V.P. [Developing man-machine interface prototype for tablet computer of Soyuz TMA-M spacecraft]. *Tezisy dokladov XX nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* [Abs. XX sci.-tech. conf. of young scientists and specialists]. Korolev, RKK "Energiya" Publ., 2014 (in Russ.).
- [8] Kapsula "Soyuza" prizemlilas' v Kazakhstane ["Soyuz capsule landed in Kazakhstan"]. *Rossiyskaya gazeta: Internet-portal* (in Russ.). Available at: <https://rg.ru/2016/03/02/kapsula-soiuza-s-kosmonavtami-prizemlilas-v-kazahstane.html> (accessed: 10.01.2017).
- [9] Murtazin R.F. Profiles of quick access to the orbital station for modern spacecraft. *Cosmic Research*, 2014, vol. 52, no. 2, pp. 153–165. DOI: 10.1134/S001095251402004X  
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1134/S001095251402004X>
- [10] Mikrin E.A. Bortovye komplekсы upravleniya kosmicheskikh apparatov [On-board control complexes of the spacecrafts]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. 245 p.

- [11] Il'in A. "Soyuz TMA" became modern. *Novosti kosmonavтики*, 2010, no. 12, pp. 14–17 (in Russ.).
- [12] Legostaev V.P., Markov A.V., Sorokin I.V. The ISS Russian segment utilization: research accomplishments and prospects. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2013, no. 2, pp. 3–18 (in Russ.).
- [13] GOST 14254–96. Stepeni zashchity, obespechivaemye obolochkami. (Kod IP) [Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 35 p.
- [14] Sukhoterin A., Dunin A., Kozlov A. Application of protected tablet PC in special conditions. *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik*, 2014, no. 2, pp. 124–129 (in Russ.).
- [15] IMX6 ARM Linux Mini PC|Utilite. Utilite: company website. Available at: <http://www.compulab.co.il/utilite-computer/web/utilite-overview> (accessed: 10.01.2017).
- [16] Kumkar V., Tiwari A., Tiwari P., Gupta A., Shrawne S. Vulnerabilities of Wireless Security protocols (WEP and WPA2). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 34–38.
- [17] Minar N.B.N.I., Tarique M. Bluetooth security threats and solutions: a survey. *IJDPS*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 127–148.
- [18] Kaleri A.Yu., Bronnikov S.V., Bubeev Yu.A., Rozhkov A.S., Isaev G.F. Designing data display system of spacesuit for extravehicular activities. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2015, no. 3, pp. 81–88 (in Russ.).
- [19] Qt. Cross-platform software development for embedded & desktop. Qt: company website. Available at: <https://www.qt.io/> (accessed: 10.01.2017).
- [20] RFC 3393. IP packet delay variation metric for IP performance metrics (IPPM). IETF Tools: website. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc3393> (accessed: 10.01.2017).

**Korvyakov V.P.** — post-graduate student, Programming Engineer of the 2nd rank of Research and Development Centre, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (Lenina ul. 4A, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Korvyakov V.P. Prototyping a Tablet-Based User Interface for the Manned Souyz MS Spacecraft. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2017, no. 6, pp. 93–114.

DOI: 10.18698/0236-3933-2017-6-93-114