

Сравнительные исследования эффективности устройств управления курсором

(Ю.А. Тяпченко, Н.А. Новикова, Е.А. Батурина, А.Г. Журавлев
специализированное ОКБ космической техники НИИ авиационного оборудования, г.
Жуковский, 2001 год)

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что современные системы отображения информации (СОИ) сложных объектов строятся на основе коммерческих компьютерных и информационных технологий (КИТ), или, так называемых COTS-технологий. Компьютеризация СОИ на основе COTS-технологий оказывает существенное влияние на организацию взаимодействия человека с объектом управления. В компьютеризированных СОИ основным становится человеко-компьютерный интерфейс (ЧКИ), техническими средствами которого являются видеомонитор (ВМ) и системный вычислитель, устройства сопряжения (УС) вычислителя с объектом управления и устройство управления курсором (УУК). В пределах СОИ видеомонитор совместно с системным вычислителем в общепринятых терминах образуют персональный компьютер (ПК) СОИ.

УУК предназначено для выбора идентификаторов объектов управления на информационном поле ВМ и подачи управляющих воздействий на избранный объект, набора и ввода цифровых данных в ПК, для навигации в диалоговой системе ЧКИ и выполнения ряда других функций, характерных для ПК общего назначения.

В пилотируемой космонавтике СОИ, содержащие в своем составе ПК, отнесены к СОИ пятого поколения. В этих СОИ все задачи, которые в предшествующих поколениях решались с помощью командно-сигнальных пультов матричного типа, электронных многофункциональных индикаторов, специализированных пультов обмена информацией с бортовым вычислительным комплексом, автономных средств навигации и индикации важных параметров, обеспечиваются с помощью одного ПК. На верхнем уровне таких СОИ находится система аварийно-предупредительной сигнализации и оперативного управления системами, связанных с обеспечением безопасности полета.

Реализация всех функций контроля и управления автоматизированным объектом на одном ПК – сложная научно-техническая проблема. К научной части относится проблема организации ЧКИ. Эта проблема решается методами эргономики. Как показывает анализ предшествующего опыта, игнорирование рекомендаций эргономики приводило к значительному снижению эффективности работы операторов в реальных условиях эксплуатации и даже к отказу от прогрессивных технических решений СОИ. Поэтому актуальной является задача разработки эргономических рекомендаций по построению ЧКИ на основе новых КИТ.

В настоящем отчете представлены результаты сравнительной оценки четырех УУК, как одного из важных компонентов ЧКИ¹:

- а) кнопочный переключатель управления курсором (маркером), размещенный на пульте космонавтов корабля "Союз-ТМА",
- б) выносной блок управления маркером (курсором) - БУМ СОИ корабля Союз-ТМА,
- в) экспериментальная ручка управления курсором типа джойстик,
- г) ручка управления с кнопулом, который использовался для управления курсором.

¹ Экспериментальные исследования были проведены при финансовой и технической поддержке со стороны ЗАО НТЦ "Альфа-М" г. Жуковский. В техническом и информационном обеспечении работ принимали участие, А.В. Белков, Ю.А. Расторгуев, Е.К. Никонов, В. Патрушев, В.А. Рохов, А.Е. Цветков, Кирилл Леонов.

Постановка задач исследования. В течении более, чем 40 –летней истории пилотируемой космонавтики создано четыре поколения систем отображения информации /1/. В настоящее время в эксплуатации находятся:

- а) на кораблях "Союз-ТМ" СОИ 4-го поколения , пульт которой представлен на рис. 1,
- б) на международной космической станции МКС "Альфа" в контуре ручного управления российского сегмента пульт пятого поколения - интегрированный пульт ИнПУ, показанный на рис. 2.

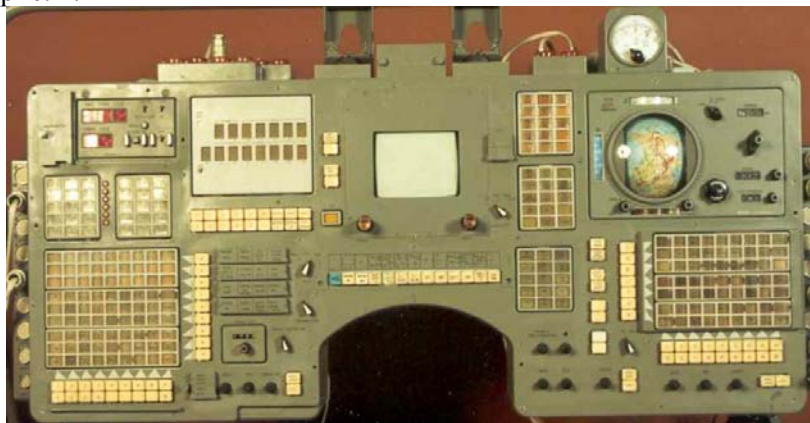


Рис. 1 Пульт космонавтов корабля Союз-ТМ



Кнопочный переключатель управления курсором

Рис.2 Интегрированный пульт ручного контура управления российского сегмента МКС

ИнПУ представляет собой персональный бортовой компьютер (ПК) типа IBM PC, сопряженный с бортовыми системами и имеющий специальное программное обеспечение, предназначенное для решения задач управления системами объекта. Для корабля "Союз-ТМА" создана СОИ 5-го поколения, пульт которой показан в спускаемом аппарате на рис. 3.

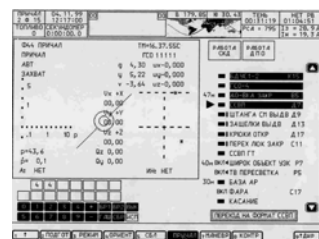
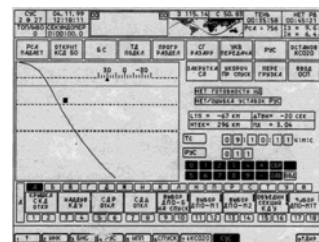
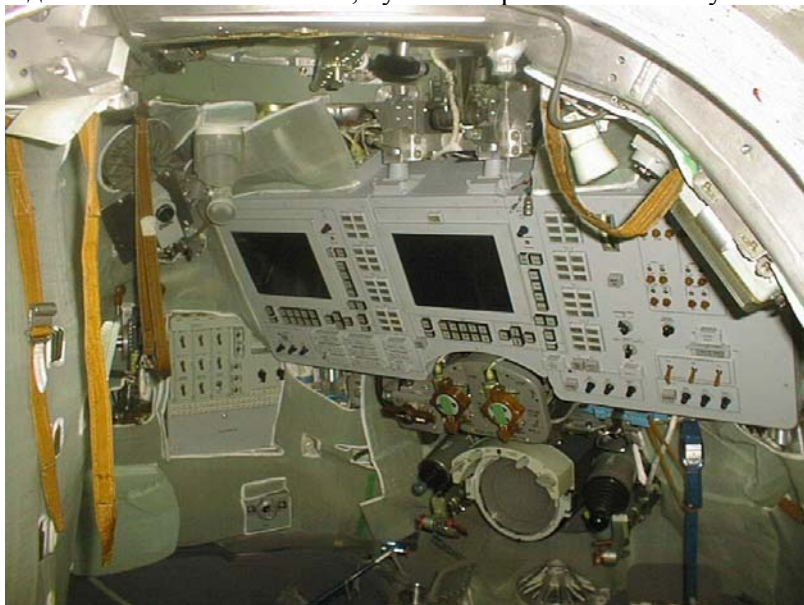


Рис.3 Пульт космонавтов 5-го поколения корабля "Союз-ТМА" и примеры форматов отображаемой информации на экранах ИнПУ.

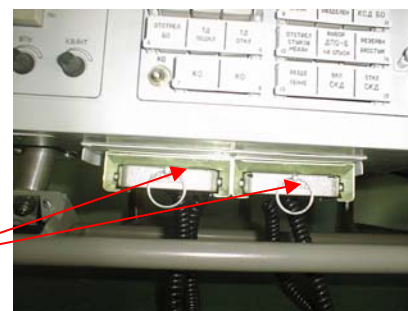
Основным элементом этого пульта является ИнПУ, по принципу построения аналогичный ИнПУ МКС «Альфа» (рис.2), но с более развитым приборным и эргономическим интерфейсами. В частности, ИнПУ СОИ "Нептун-МЭ" в отличие от ИнПУ СМ МКС, имеет

средства приема, обработки и представления на экранах ВМ СОИ телевизионной информации, средства преобразования экранной информации в телевизионную и др. В СОИ "Нептун-МЭ" таких ИнПУ два. С помощью каждого ИнПУ реализуются все функции пульта космонавтов, который показан на рис. 1. Информация отображается на экранах ИнПУ, а ввод данных, управление системами обеспечиваются с помощью кнопочных устройств управления курсором, расположенных непосредственно под экраном ВМ (см. рис.2) или с помощью клавиш (см. рис. 4) блока управления курсором (маркером—БУМ). В СОИ "Нептун-МЭ" установлены два БУМ, каждый из которых электрически соединен с ПК с помощью шнура телефонного типа. В транспортировочном положении БУМ закреплены в корпусе пульта. В рабочем положении они вытаскиваются с помощью кольца и держатся в руках.



Рис.4. Блок управления маркером (курсором) системы отображения информации корабля Союз-ТМА

Рис. 5 Размещение блоков управления в пульте космонавтов транспортном пол БУМ



ИнПУ с его информационным и программным обеспечением образуют человеко-компьютерный интерфейс. Рабочие места могут быть оснащены несколькими ИнПУ. Тогда все они в совокупности образуют человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), основным компонентом которого является ЧКИ.

Космонавтика в классе подвижных объектов первая, но не единственная отрасль, в которой осуществлен переход к интегрированным СОИ с использованием устройством управления курсором. По аналогичному пути развиваются СОИ вертолетов, истребителей. транспортной и пассажирской авиации, центров управления воздушным движением и ПВО. В авиации основным компонентом этих СОИ являются многофункциональные ЖК-индикаторы, а в центрах управления – телевизионные мониторы, ЖКИ, и мониторы ПК. Примеры наземных пультов с использованием УУК показаны на рис.6,7.

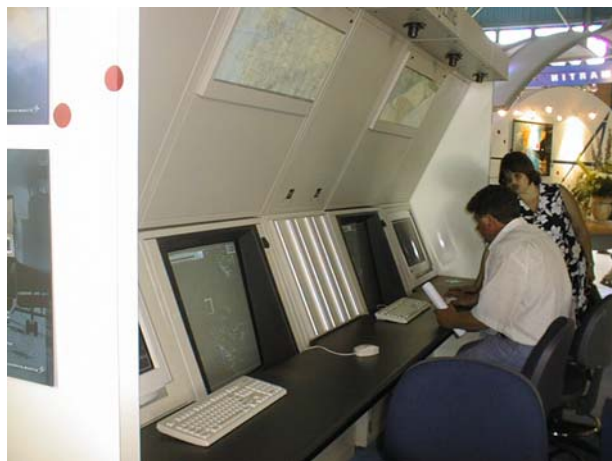


Рис. 6 Пульт оператора ПВО ↑

Рис. 7 Пульт оператора УВД ←

Некоторыми авиационными фирмами проведены летные испытания систем нового поколения с использованием УУК (ССD – cursor control device). Примеры авиационных УУК показаны на рис. 8-11

Таким образом, современная техника позволила сделать качественно новый шаг в организации деятельности человека в сложной системе управления. Основным компонентом таких систем становятся СОИ, интегрированные на основе современных компьютерных и

информационных технологий. Не сложно убедиться, что главным в подобного рода СОИ становится эргономическое обеспечение.



Рис. 8 Устройство управления курсором для самолета Гольфстрим (ВСА, декабрь 2000, стр.55)



Рис.9 Устройство управления курсором и PC-подобная клавиатура фирмы Dassault в кабине самолета Falcon 900EX (AW&ST Апрель 23, 2001, стр.49)



Рис.10 Устройство управления курсором и PC-подобная клавиатура для самолета Ф380 ((AW&ST июль 30, 2001, стр.42)



Рис.11 Устройство управления курсором фирмы Дассо (ВСА, ноябрь 2000)

Цель работы. Целью настоящей работы является выбор из 4-х УУК наиболее эффективного применительно к задачам СОИ "Нептун-МЭ" космического корабля "Союз-ТМА".

Объект исследования. На рынке имеется большое разнообразие УУК. Многие из них широко используются в компьютерных играх, другие - в системах управления и наведения и т.д.. Объектами исследования в настоящей работе являются:

- ◆ кнопочные переключатели управления курсором (см.рис.2), расположенные под экраном ИнПУ пульта ПСА-2Э корабля Союз-ТМА - БУМпу
- ◆ выносной блок управления курсором того же пульта (см. рис.4)- БУМвн
- ◆ ручка управления с кнопочкой, показанная на рис. 12, - РУкноп
- ◆ ручка управления типа джойстик, показанная на рис. 13, - РУдж.



Рис. 12 Ручка управления с кнопочкой



Рис. 13. Манипулятор типа джойстик

Рис.14
Рабочее место исследования



Экспериментальная установка и место проведения исследований. Исследования проводились с использованием штатного пульта космонавтов и входящих в него блоков управления курсором. Ручка управления с кнопочкой и джойстик последовательно

подключались к пульту к тем же разъемам, что и БУМ пульта. Штатное размещение пульта в кабине СА показано на рис. 3. В экспериментах пульт размещался на столе. На рис. 14 показано рабочее место эксперимента. УУК не закреплялись- держались в руке.

Время проведения экспериментальных работ: май - август месяцы 2001г.

Место проведения исследований – лаб.21 отделения 2 СОКБ КТ НИИАО, г. Жуковский.

Методика исследований

Для исследования были отобраны типовые операции деятельности оператора при управлении бортовыми системами, вводе данных и др..

Оператор размещался на стуле по центру пульта (см. фото на рис.14). Пульт был установлен на расстоянии ~ 0,5 м от оператора. Размещение пульта было отличным от его размещения в штатном варианте в части наклона пульта и линии взора оператора.

Условия проведения экспериментов – нормальные климатические при внешней освещенности ~150лк.

Информация предъявлялась оператору на монохромном индикаторе EL 640.480-4D4-AGS, который по читаемости информации имеет более низкие показатели, чем цветной индикатор²

В качестве операторов были привлечены 7 человек, из них 6 инженеров-исследователей, знакомых с работой пульта ПСА-2Э-Ф732, а также инженер- исследователь из кандидатов в космонавты.

Перед оператором ставилась задача управления курсором в соответствии с заданными алгоритмами выполнения операций. В ходе исследований операторами выполнялось 29 операций, по 3 раза каждая, поочередно с четырьмя видами СУ.

Кандидат в космонавты работал по программе, сокращенной до 13 типовых операций.

Была установлена следующая очередность оцениваемых СУ:

- ◆ кнопочный блок управления курсором, расположенный на пульте – БУМ пультовой - БУМпу
- ◆ блок управления курсором выносной - БУМвн,
- ◆ ручка управления типа джойстик - РУдж,
- ◆ интегрированная ручка управления с кнопкой - РУкноп.

БУМпу был выбран в качестве базового УУК.

Темп (скорость) работы оператора не являлся определяющим фактором. Оператор должен был работать с каждым из УУК в свойственном для него темпе, обусловленном его психофизиологическими возможностями. Определяющими являлись сравнительные показатели времени работы оператора при выполнении одних и тех же операций с разными УУК.

В ходе исследований учитывались замечания и предложения операторов, а также отмечался их стиль работы.

Время выполнения операций регистрировались на ПК. В дальнейшем данные подвергались статистической обработке на ПК IBM/ PC с помощью разработанной программы "HRON".

Для каждого УУК:

- ◆ фиксировалось время выполнения каждой отдельной операции – t_i ,
- ◆ рассчитывалось среднее время выполнения операции t_{cp} по трем замерам при выполнении одной и той же операции:

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

- ◆ рассчитывалось процентное соотношение средних времен выполнения каждой операции для 2-х сравниваемых УУК относительно базового показателя. За базовый показатель принималось время выполнения операции с помощью БУМпу – $t_{баз.}$

Так, например, при сравнении времени выполнения i -ой операции при помощи РУдж и БУМпу процентное соотношение (Δ %) рассчитывалось по формуле:

$$\Delta \% \text{ РУдж} = 100\% - \frac{t_{cp. \text{ РУдж}}}{t_{cp. \text{ БУМпу}}} \times 100\%$$

² Акт № 4/38 от 16.08.2000 г. СОКБ КТ НИИАО. г. Жуковский

$t_{\text{ср. БУМпу}}$

Таким образом были определены на сколько % показатели работы одного УУК лучше или хуже базового по отдельным операциям.

Сравнительная оценка по всем операциям для каждого УУК относительно базового рассчитывалась по формуле

$$M_{\text{ср}} \Delta \% \text{УУК}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta \% \text{УУК}_k}{n} \quad \text{где: } n - \text{число операций,}$$

Результирующая средняя относительная оценка $M_{\text{отн}}$ по всем операциям для сравниваемых УУК рассчитывалась по формуле:

$$M_{\text{отн}} = \frac{M_{\text{ср}} \Delta \% \text{УУК}_i}{M_{\text{ср}} \Delta \% \text{УУК}_k}$$

$\text{УУК}_i - \text{УУК}_k$ - сравниваемые УУК.

Результаты исследований и выводы

Исследования показали:

1. Из семи операторов у пяти скоростные показатели выполнения операций на 4,5% - 40% лучше при работе с ручкой управления с кнопом (РУкн). Один оператор лучше работал с БУМпу, за ним следовала РУкноп. Один оператор показал лучшие результаты при работе как с БУМпу, так и с РУкноп с небольшим преимуществом (на ~ 2,6 %) в пользу БУМпу.
2. На втором месте оказались БУМпу и РУдж.
3. Худшие на 1% - 29% результаты при работе с БУМвн.
4. Особо отмечались удобство и легкость работы с РУкноп, не требующей никаких усилий и напряжения. При этом необходимо отметить, что размещение средств управления (кроме клавиатуры пульта - БУМпу) выбиралось каждым оператором, исходя из удобства работы.
5. У одного оператора скоростные показатели при работе с РУкноп и клавиатурой пульта близки.
6. Субъективные оценки операторов преимущества РУкноп полностью совпадают с объективными результатами исследований.

Таким образом, в результате исследований четырех типов УУК установлено:

1. По скоростным показателям и субъективным оценкам операторов наилучшим УУК является ручка управления с использованием кнопея, установленном на ручке, для управления курсором.
2. Самую низкую оценку среди УУК получил БУМвн (клавишный блок управления курсором выносной): пять операторов из семи - по результатам исследований и четыре оператора из семи - по субъективной оценке.

Полученные результаты эргономической оценки являются предварительными, так как исследования проводились в условиях не идентичных штатным, и место размещения ручек управления и БУМвн выбирали сами операторы, исходя из удобства работы с ними. В связи с этим рекомендуется провести зачетные оценки в условиях максимально приближенных к штатным. Вместе с тем следует отметить высокие оценки ручки управления с кнопом. Кроме этого эти результаты позволяют сделать предварительный вывод о целесообразности совмещения в одном устройстве ручки управления движением подвижного объекта и органов управления курсором.