

## 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 ЧКИ<sup>1</sup>:

- 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.

<sup>1</sup> 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.

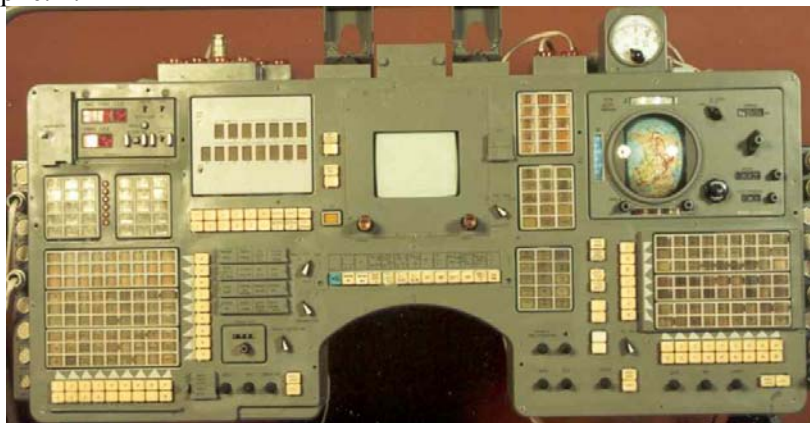


Рис. 1 Пульт космонавтов корабля Союз-ТМ



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.

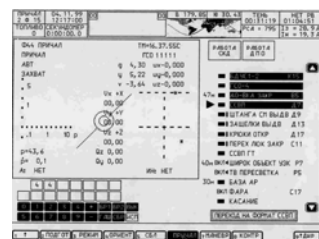
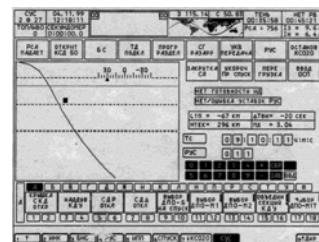
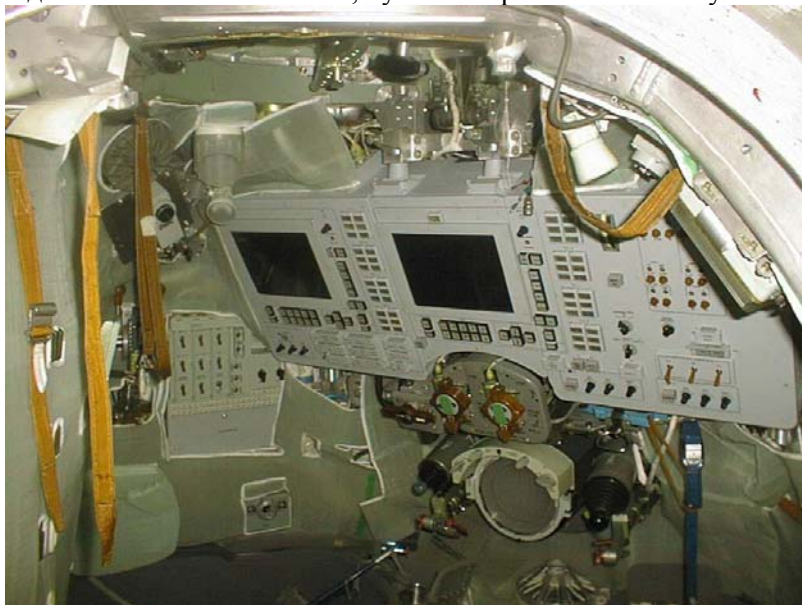


Рис.3 Пульт космонавтов 5-го поколения корабля "Союз-ТМА" и примеры форматов отображаемой информации на экранах ИнПУ.

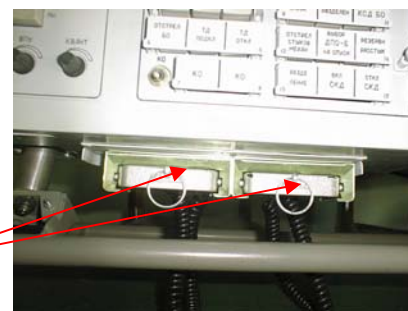
Основным элементом этого пульта является ИнПУ, по принципу построения аналогичный ИнПУ МКС «Альфа» (рис.2), но с более развитым приборным и эргономическим интерфейсами. В частности, ИнПУ СОИ "Нептун-МЭ" в отличие от ИнПУ СМ МКС, имеет

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.

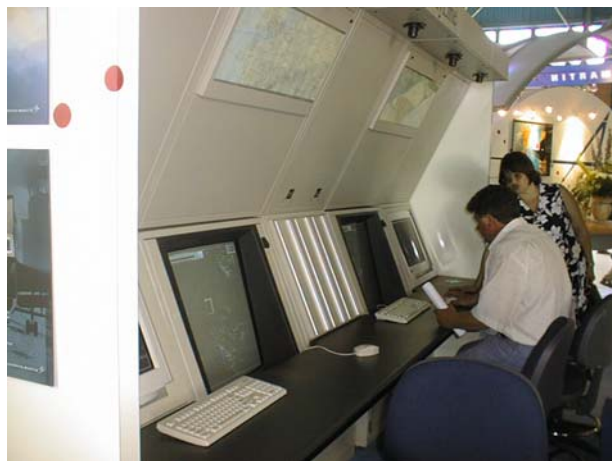


Рис. 6 Пульт оператора ПВО ↑

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 (BCA, 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 (BCA, 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 зора 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 индикатор<sup>2</sup>

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 (  $\Delta$  %) рассчитывалось по формуле:

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

<sup>2</sup> 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

$$M_{\text{ср}} \Delta \% \text{ УУК}_k = \frac{\sum_1^n \Delta \% \text{ УУК}_k}{n} \quad \text{где: } n - \text{число операций,}$$

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 кнопулом (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 кнопула, 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 кнопулом. Кроме этого эти результаты позволяют сделать предварительный вывод о целесообразности совмещения в одном устройстве ручки управления движением подвижного объекта и органов управления курсором.