УДК 331.101.1: 681.51(045)

В. И. Кашматов, канд. техн. наук

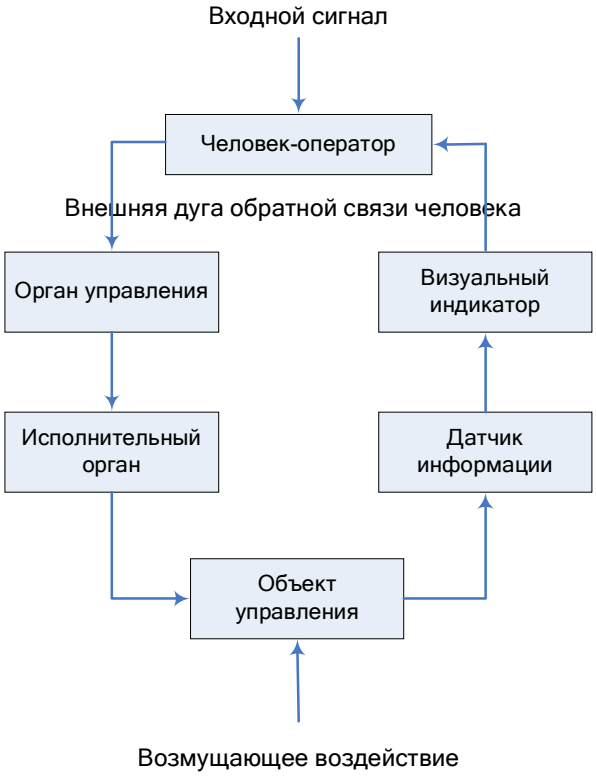
АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА С УПРАВЛЯЕМЫМ ОБЪЕКТОМ В ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: iesu@nau.edu.ua

Проведен структурный анализ взаимодействия оператора с управляемым объектом в дистанционной системе управления. Раскрыто содержание деятельности оператора, обосновано новое устройство – индикаторный орган управления, оптимизирующее взаимодействие человека-оператора с управляемым объектом в дистанционной системе управления.

Ключевые слова: оператор, объект, взаимодействие, система, управление дистанционное, деятельность оператора, модели объекта: информационная, концептуальная, органы управления, индикаторы.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. Для большинства современных систем управления типична удалённость объектов управления от операторов. В дистанционной системе управления (рисунок) оператор лишен возможности непосредственно как воздействовать на управляемый объект, так и наблюдать его и вынужден пользоваться для этой цели индикаторами и органами управления. Индикаторы и органы управления при дистанционном управлении объектом заменяют (имитируют) оператору управляемый объект, отображают его самые существенные свойства, являются его информационной моделью.



Общая функциональная схема дистанционной системы управления

При анализе деятельности оператора большинство исследователей склонны рассматривать ее как ряд последовательно выполняемых действий. Такой подход основан на гипотезе «одноканальности» оператора (предположения о том, что механизм переработки информации, свойственный человеку, функционирует как одноканальная система) [1].

На основании гипотезы одноканальности оператора его деятельность делится на три последовательных операции: прием информации, решение задачи и выдача информации. В операциях приема и обработки информации в дистанционных системах управления в соответствии с основными формами отражения можно выделить три уровня регуляции (уровни преобразования информации):

1) уровень первичных образов (уровень ощущения и восприятия);

2) уровень вторичных образов (уровень представления);

3) уровень речемыслительных процессов.

При управлении движением летательного аппарата (ЛА) в результате восприятия оператором показаний индикаторов и органов управления создается первичный образ движения – образ информационной модели движения ЛА. На основе первичного образа в результате обработки информации на уровне представлений создается вторичный образ действительного движения ЛА – концептуальная модель.

После того, как оператор построил концептуальную модель, он принимает решения и осуществляет управляющее действие. Принятое решение осуществляется на высшем уровне регуляции – на уровне мышления – и включает в себя осмысливание, оценку проблемной ситуации (например выявление известного и искомого). Знание закономерностей психических процессов и их регулятивной функции является основанием для решения проблемы оптимального моделирования свойств управляемого объекта (например, выбор формы сигналов и способов передачи информации человеку).

Создавая ту или иную информационную модель, конструктор вместе с тем (осознает он это или нет) предопределяет динамику психических процессов и уровень психической регуляции действий оператора. При неудачном, с точки зрения психологии, выборе информационной модели в операции приема, обработки и выдачи информации вносятся лишние трудности, неоправданно усложняющие деятельность оператора. Это приводит к увеличению нервно-психического напряжения, снижения точности и скорости его действий и, в конечном счете, к снижению надежности всей системы «человек–машина».

Построение концептуальной модели представляет собой перевод показаний отдельных приборов во внутреннее видение траектории движения. Этот перевод требует от оператора множества преобразований информации и весьма труден для оператора. Чтобы повысить скорость переработки информации, необходимо изучить состав операций, с помощью которых осуществляется преобразование информационной модели в концептуальную, а также время выполнения каждой из этих операций. Для создания оптимальных условий оперативного и точного управления следует по возможности сближать содержание информационных и концептуальных моделей и тем самым уменьшать количество операций, необходимых для создания концептуальной модели. Если структура требуемой для принятия решения концептуальной модели раскрыта, то возможно достижение полного совпадения информационной и концептуальной модели, т. е. фактически возможно исключение человека из системы управления. Обычно в понятие «информационная модель» из всех средств отображения свойств объекта включают только индикаторы и не включают органы управления. Все управляемые объекты при описании причинно-следственных связей в них имеют входы и выходы. Описание свойств, связей, взаимоотношений управляемых объектов только одними выходными величинами было бы односторонней характеристикой объекта. Органы управления отображают вход управляемого объекта и потому должны входить в состав информационной модели.

В структуре информационной модели имеются три основных соотношения, которые влияют на эффективность деятельности оператора:

1) между выходными величинами объекта и их отображением на индикаторах;

2) между входными величинами объекта и их отображением в органах управления;

3) между взаимосвязью входных и выходных величин объекта, с одной стороны, и взаимосвязью индикаторов и органов управлении, с другой стороны.

Взаимодействие оператора с управляемым объектом с помощью органов управления и индикаторов в дистанционной системе определяется приведенными выше соотношениями. Проектируя эти соотношения, конструктор системы организовывает взаимодействие оператора с управляемым объектом. Поэтому в основу анализа взаимодействия оператора с управляемым объектом необходимо положить анализ оптимальности этих соотношений с точки зрения обеспечиваемой ими эффективности деятельности оператора.

Анализ исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных частей общей проблемы.

Анализ проблемы оптимального моделирования выходов управляемого объекта. Все индикаторы по применяемой в них системе сигналов в зависимости от степени кодирования информации можно разделить на два класса: индикаторы-изображения и индикаторы-символы.

В индикаторах-изображениях состояния сигнала копируют, воспроизводят состояния управляемого объекта. В индикаторах-символах состояния сигнала выступают как код состояний объекта. Так, например, изображение может быть и копией объекта, воспроизводящей все его детали и свойства, и схемой, отображающей лишь наиболее существенные признаки. По показателям полноты коды также могут быть разделены на ряд разновидностей.

Кроме этого, существуют промежуточные индикаторы, включающие как признаки изображения, так и признаки символа. Тип индикатора влияет на структуру деятельности оператора. В операцию приёма сигнала входят две взаимосвязанные стадии: первая – непосредственное различение и опознание физического процесса, выступающего в роли сигнала; вторая – опосредованное опознание и интерпретация того состояния регулированного объекта, информацию о котором данный сигнал несёт. Стадия интерпретации символов представляет собой процесс декодирования информации, т. е. перевод сигналов-символов в представление реальной обстановки. Способ преобразования информации на стадии интерпретации зависит от соотношения между задачей деятельности и формой сигнала. Если перед оператором стоит задача управления пространственным положением объекта, а информация подаётся в виде кода, то необходимым компонентом деятельности становится преобразование сигналов в изображение, т. е. декодирование. Оно осуществляется в представлениях, воссоздающих реальную картину перемещения управляемого объекта. Ведущим уровнем регуляции действий оператора является образное мышление. Процесс декодирования информации является одним из труднейших умственных действий, при выполнении которого оператор допускает ошибки: неверно оценивает действительное положение, направление и скорость движения ЛА.

Одним из важнейших путей повышения эффективности деятельности оператора является путь создания индикаторов, которые снимают противоречие между формой сигнала и способом его обработки. Этого можно достигнуть при переходе от символических индикаторов к индикаторам картинным.

Особенно важен такой переход для систем управлением движением ЛА, где решаются непрерывные перцептивно-моторные задачи типа “слежение”. Основой узнавания предмета в его изображении является ассоциация по сходству, представляющая собой сравнительно элементарное психическое явлении. Связь между предметами и его изображением выступает здесь, как непосредственная. Её раскрытие не требует каких-либо преобразований сигнала. В литературе [1, с. 260] имеются данные (см. таблицу), показывающие, что скорость опознания изображений зависит от полноты изображения.

С целью облегчения работы по преобразованию сведений информационной модели в концептуальную оператору вместо отдельных частных показаний (или наряду с ними) дают картину полёта. Такие индикаторы иногда называют контактными аналогами. Картинные индикаторы начинают применяться при управлении скоростными самолётами при посадке [1, с. 258].

Влияние полноты изображения на латентный период и величину условно-рефлекторной реакции (Б. Ф. Ломов, 1957)

Сигналы	Латентный период, с	Сила реакции, %
Предмет в натуре	0,4	100
Цветной рисунок	0,9	76,5
Светотеневой рисунок	1,2	55,1
Контурный рисунок	2,5	27,5
Слово	2,8	16,3

На пульте управления этих самолетов с помощью средств электроники генерируется изображение посадочной полосы, которое заменяет систему стрелочных индикаторов. Это значительно облегчает ориентировку оператора в положении ЛА относительно земли в последний момент. Картинные индикаторы, создающие двумерное изображение, значительно повышают скорость приема информации зрительным анализатором.

Однако наиболее наглядными являются объёмные (трехмерные) изображения (см. таблицу).

Объемные индикаторы позволяют наилучшим образом использовать зрительный анализатор. Однако скорость приема информации зависит не только от соотношения свойств сигнала и свойств объекта, но и от модальности сигнала, т. е. от анализатора, на который этот сигнал воздействует. В литературе [1, с.164] известны данные, показывающие, что наибольшая скорость реакции существует на тактильной, а не визуальный сигнал. Этот факт объясняется тем, что тактильная сигнализация является генетически исходной и интимно связана с движением. Такой же быстрой реакции следует ожидать и на кинестетический сигнал, поскольку проприоцептивная сигнализация связана с движением на том же уровне, что и тактильная (уровень спинного мозга) [2]. В связи с этим желательно иметь такой объемный индикатор-изображения, который можно воспринимать не только визуально, но и осязать, брать в руки.

Анализ проблемы оптимального моделирования входов управляемого объекта. Все органы управления по соотношению входных величин объекта и органа управления можно разделить на два вида: органы управления кодирующего действия и органы управления предметного действия. Органы управления предметного действия в динамике своего сопротивления воспроизводят динамику регулирующего воздействия на объект. Органы управления кодирующего действия не имеют сопротивления вообще или не воспроизводят в динамике своего сопротивления динамику регулирующего воздействия на объект.

Тип органа управления влияет на структуру деятельности оператора. В операции выдачи информации имеются две взаимосвязанные стадии [1, с. 57]: первая – формулирование решения, вторая – реализация решения.

На стадии формулирования решения оператор переводит решение на язык выходных сигналов. Поскольку решением является то регулирующее воздействие на объект, которое способно вызвать желаемое движение объекта, то на стадии формулирования решения оператор кодирует регулирующее воздействие на объект в соответствующее ему управляющее воздействие на рычаг управления.

На стадии реализации решения оператор осуществляет подготовительные движения и непосредственно кодирует команды-информации. Кодировать регулирующее воздействие на объект в некоторое, несовпадающее с ним по характеру, управляющее воздействие на рычаг оператору приходится в том случае, когда в процессе реализации решения орган управления не создаёт сопротивления вообще или создаёт сопротивление, но не равное (или пропорциональное) регулирующему воздействию на объект.

Если орган управления создаёт сопротивление рычага равное (или пропорциональное) регулирующему воздействию на объект, то стадия формирования решения упрощается. В процессе реализации решения оператор создаёт управляющее воздействие, равное сопротивлению органа управления. В этом случае кодирование на стадии формулирования решения

не требуется, т. к. управляющее воздействие и регулирующее воздействие являются величинами одного и того же характера – моментами сил. При выдаче информации на стадии реализации решения оператор воспринимает тактильно-кинестетические сигналы при регулировании кодирующего движения.

При определённых условиях тактильно-кинестетическая сигнализация может быть усилена.

Так на первый взгляд кажется, что лучшими органами управления являются те органы, при перемещении которых не требуется преодолевать никакого сопротивления. Однако исследования показывают, что оператор в этом случае "не чувствует" объект и поэтому действует недостаточно точно. Точность регуляции движения по силе, скорости и перемещении различна. Регуляция движений по силе является более простой задачей, чем регуляция движений по амплитуде (величине отклонения) или скорости [1. с. 400].

Точность слежения с помощью органов управления, требующих нажима на закреплённый рычаг, выше, чем с помощью перемещения рычага. В связи с этим при конструировании органов управления рекомендуется в системах слежения оказывать предпочтение органам управления, требующим нажима на рычаг управления.

При управлении рулями посредством жёстких тяг лётчик на рычаге управления воспринимает шарнирный момент руля управления. При управлении с помощью гидроусилителей шарнирный момент воспринимает гидроусилитель, так как величина шарнирного момента превышает физические возможности лётчика. Введение гидроусилителей выключило кинестетическую обратную связь по регулирующему воздействию. Это усложнило процесс управления самолётом.

Для восстановления "чувства управления" (тактильно-кинестетического чувства) были созданы автоматы загрузки. В автоматах загрузки симмитирован шарнирный момент руля управления. Для имитации сопротивления (шарнирного момента) в автомате загрузки поставлена пружина. Но так как шарнирный момент зависит не только от угла отклонения руля, но и от скоростного напора, то для более точной имитации шарнирного момента жёсткость пружины изменяется в зависимости от скорости полёта и плотности воздуха.

Передача информации оператору о регулирующем воздействии на объект с помощью автоматов загрузки упрощает операции выдачи информации.

Однако для создания необходимого управляющего воздействия оператору важно знать также и внешнюю причину движения, не зависящую от оператора, а именно возмущающее воздействие на объект управления. В том случае, если оператор не чувствует кинестетически возмущающее воздействие на входе управляемого объекта, то он вынужден контролировать его визуально по выходным величинам. Контроль входных величин объекта посредством выходных величин для объектов, описываемых передаточной функцией высокого порядка, оказывается запоздалым и приводит к большим ошибкам.

Анализ проблемы оптимального моделирования соотношения входов и выходов управляемого объекта. Наиболее существенными взаимосвязями, характеризующими управляемый объект, являются взаимосвязи между его входными и выходными величинами. Эти взаимосвязи отображаются соотношением индикаторов и органов управления, которое характеризуется согласованностью движений стрелок индикаторов и рычагов управления в пространстве и во времени, близостью и структурным соответствием в размещении индикаторов и органов управления на панели управления.

В зависимости от соотношения индикаторов и органов управления на пульте управления все индикаторы и органы управления можно разделить на два класса: совместимые и несовместимые индикаторы и органы управления. К совместимым индикаторам и органам управления относятся индикаторы и органы управления, расположенные в структурном соответствии с объектом, у которых сигнал и действие согласованы по направлению и место приложения действия совпадает (или находится рядом) с местом появления сигнала.

Компоновка пульта управления влияет на структуру деятельности оператора. В операциях приёма и выдачи информации имеются стадии поиска сигналов и средств реализации команды. В процессе приёма и выдачи информации оператору приходится всё время соотносить между собой сигнал и действие по местоположению и направлению. Если сигнал и действие несовместимы по направлению и местоположению, то в операциях приёма и выдачи информации усложняются стадии поиска сигналов и средств реализации команды, что приводит к ошибкам оператора. Так, например, большинство ошибок пилота при управлении самолётом состоит в смешении органов управления, в забывании нужного действия, в выполнении реверсивных движений и т. д. [1, с. 395]. Все они, в конечном счете, связаны с трудностями различения органов управления, соотнесения их с показаниями индикаторов и вытекающими отсюда трудностями регуляции движения. Экспериментальные исследования показывают, что быстрота и точность управляющих воздействий оператора зависят от компоновки пульта управления, в частности от соотношения направлений сигнала и действия, структурного соответствия и близости индикаторов и органов управления.

Данные различных авторов, приведенные в работе [1], показывают что:

– точность движений оператора зависит от отношения их направлений к направлению сигнала [1, с. 395];

– ошибочные действия оператора возникают из-за несогласованности пространственного положения объектов и приборов [1, с. 288];

– точность действий оператора тем большая, чем больше структурное соответствие в расположении индикаторов и органов управления [1, с. 398];

– эффективность действий зависит не только от структурного соответствия, но и от близости индикаторов и органов управления (от соотношения сигнала и действия по местоположению) [1, с.397].

В связи с этим в инженерной психологии наилучшим вариантом взаимоотношений индикаторов и органов управления по местоположению признано такое местоположение, при котором “информация используется там, где она возникает”, т. е. место приложения действия совпадает с местом появления сигнала.

Установившиеся в привычных условиях, при определённом типе соотношений индикаторов и органов управления навыки работы и уровень эффективности могут быть нарушены в особых условиях стресса, понижения мотивации, усталости, изменения рабочей обстановки и т. д. Тренировка на “несовместимых устройствах” не столько замещает навыки деятельности с “совместимыми”, сколько подавляет их. Это подавление носит временный характер, и возможность их воспроизведения возрастает по мере удаления от привычных условий выполнения задачи.

В связи с этим совместимость индикаторов и органов управления важно соблюдать в тех случаях, когда от оператора требуется высокая скорость действий, когда наряду с основной задачей он должен решать дополнительные задачи. Кроме того, совместимость индикаторов и органов управления важна в тех случаях, когда в управлении участвуют обе руки оператора, повышена чувствительность оборудования к управляющим действиям оператора и имеется опасность, связанная с ошибкой оператора.

Индикаторный орган управления. Деятельности оператора ЛА (лётчика, космонавта) в системе управления угловым движением ЛА в значительной степени свойственны указанные выше условия.

В связи с этим необходимо в системах управления угловым движением ЛА обеспечить не только структурное соответствие, согласованность по направлению движения сигналов и органа управления, но и совместить стрелку индикатора с рычагом управления.

Отсюда возникает необходимость разработки вместо раздельно существующих индикаторов и органов управления единого прибора – индикаторного органа управления.

Индикаторный орган управления максимально приблизит управляющее действие к предметному и обеспечит оптимальные условия регуляции управляющих действий оператора.

Подробное описание индикаторного органа управления выполнено в описании к патенту на изобретение [3] в разделе « Пульт управления».

Выводы и предложения

1. В дистанционной системе управления объектом с помощью машин-двигателей оператор взаимодействует не с самим объектом, а с его «заменителями» – индикаторами, органами управления, представляющими собой информационную модель управляемого объекта.

2. На основании данных информационной модели человек-оператор строит в мозгу концептуальную модель управляемого объекта, принимает решения и осуществляет управляющие действия.

3. Создавая информационную модель, конструктор предопределяет динамику психических процессов и уровень психической регуляции управляющих действий человека-оператора.

4. В структуре информационной модели имеется три основных соотношения, влияющие на эффективность деятельности человека-оператора: между выходными величинами объекта и их отображением на индикаторах; между входными величинами объекта и их отображением в органах управления; между взаимосвязью входных и выходных величин и взаимосвязью индикаторов и органов управления.

5. Из анализа первого соотношения следует предложение создать объемный индикатор-изображение, который можно воспринимать не только визуально, но и осязать, брать в руки. Из анализа второго соотношения следует предложение передавать человеку-оператору информацию о регулирующем воздействии на объект с помощью автоматов загрузки. Из анализа третьего соотношения следует предложение согласовывать движение стрелок индикаторов и рычагов управления в пространстве и во времени, размещать на панели управления вблизи в структурном соответствии с объектом управления.

6. В совокупности все предложения обосновывают необходимость разработки вместо раздельных индикаторов, органов управления единого прибороиндикаторного органа управления.

Список литературы

1. *Ломов Б. Ф.* Человек и техника. – М.: Сов. радио, 1966. – 464 с.
2. *Триумфов А. В*. Топическая диагностика заболеваний нервной системы. – Л.: Медгиз. 1953. – 275 с.
3. *Пат. 2128600 Российская Федерация, МКИ В 64С 13/04.* Пульт, система и способ ручного управления и стабилизации регулируемой величины движения летательного аппарата «Аржесан»; Заявитель и патентообладатель Кашматов В. И. – № 96105098/28; заявл. 15.03.96; опубл. 10.04.99. Бюл. №10. – 3 с.

В. Й. Кашматов

Аналіз взаємодії оператора з керованим об’єктом в дистанційній системі керування

Проведено структурний аналіз взаємодії оператора з керованим об’єктом в дистанційній системі керування. Розкрито зміст діяльності оператора, обґрунтовано новий прилад – індикаторний орган керування, який оптимізує взаємодію людини-оператора з керованим об’єктом в дистанційній системі керування.

V. I. Kashmatov

The analysis of interaction between the operator and the controlled object in the remote control system

The article deals with the structural analysis of interaction between the operator and the controlled object in the remote control system. The essence of operator’s operation is revealed, a new instrument – the indicator control unit, improving the interaction between the human-operator and the controlled object in the remote control system is explained.