



ОС Н О В Ы  
И Н Ж Е Н Е Р Н О Й  
П С И Х О Л О Г И И

ТАРТУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

М. А. Котик

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Учебное пособие

Тарту 1969

В основу данного учебного пособия положен курс лекций, прочитанный в Тартуском государственном университете за 1966-1968 учебные годы. Учебное пособие предназначено для студентов отделения производственной психологии ТГУ. Оно может быть полезно специалистам, занимающимся исследованием, проектированием и практическим применением систем "человек-машина", а также работающим в области научной организации труда.

## С о д е р ж а н и е

	Стр.
В В Е Д Е Н И Е .....	7
I. ЧЕЛОВЕК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ .....	II
1. Особенности деятельности оператора в системе "человек-машина" .....	II
2. Человек, как звено в системе управления .....	12
3. Возможности человека и машины в системе управления .....	14
4. Согласование функции человека и машины .....	16
5. Информационные модели и оперативное мышление .....	18
6. Эффективность кодирования .....	26
II. ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА .....	37
1. Время реакции как индикатор в инженерно-психологических исследованиях .....	37
2. Механизмы реакции человека .....	39
3. Характеристики чувствительности человека .....	43
4. Факторы, влияющие на время сенсомоторной реакции .....	48
5. Время цикла регулирования и резервное время .....	56
6. Примеры использования характеристик времени реакции для решения практических задач .....	60
III. О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ИНФОРМАЦИИ И СПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА К ЕЕ ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИЮ .....	66
1. Количественные характеристики информации .....	66
2. Об использовании теории информации для исследования психических процессов .....	76

	Стр.
3. Зависимость времени реакции от количества информации .....	80
4. Психология памяти и теория информации .....	87
5. Значимость информации и ее оценка .....	95
<b>IV. ТОЧНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА И СИСТЕМЫ "ЧЕЛОВЕК-МАШИНА" .....</b>	<b>104</b>
1. Проблема точности .....	104
2. Ошибки измерения и их классификация .....	107
3. О методах количественной оценки ошибок измерения .....	110
4. Влияние психических факторов на точность работы оператора .....	115
5. Точность, как индикатор инженерно-психологических исследований .....	119
<b>V. НАДЕЖНОСТЬ ОПЕРАТОРА И СИСТЕМЫ "ЧЕЛОВЕК-МАШИНА" .....</b>	<b>127</b>
1. Надежность технических звеньев .....	128
2. О применении некоторых характеристик теории надежности к оценке деятельности оператора .....	139
3. Качественные характеристики надежности оператора .....	149
4. Об оценке вероятности появления отказов с определенными последствиями .....	159
5. Об оценке значимости контрольных приборов .....	163
6. Эффективность системы "человек-машина" и деятельности в ней оператора .....	166
<b>VI. СРЕДСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ И ИХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ .....</b>	<b>169</b>
1. Классификация индикаторов .....	170
2. Стрелочные индикаторы .....	172
3. Индикаторы, выдающие сигналы в форме изображений .....	180
4. Командные /направляющие/ индикаторы .....	186
5. Приборные панели .....	190
6. Передача информации посредством воздействия на слуховые и тактильные анализаторы .....	196

	Стр.
УП. УПРАВЛЯЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА .....	199
1. Характеристики рабочих движений оператора .....	200
2. Механизмы регуляции движения .....	204
3. Теоретико-информационный подход к оценке времени двигательного акта .....	209
4. Двигательные задачи и их классифи- кация .....	213
5. Согласование органов управления с харак- теристиками деятельности оператора .....	219
Л И Т Е Р А Т У Р А .....	224
Именной указатель .....	232
Предметный указатель .....	234

## В В Е Д Е Н И Е

Быстрый прогресс техники и, в частности, создание сложных автоматизированных комплексов обусловили существенное изменение функций, выполняемых человеком в системе управления. Появились принципиально новые условия трудовой деятельности, для анализа которых оказалось недостаточным одного здравого смысла, а потребовались специальные исследования человека, как звена в системе управления. Эти исследования оказались настолько многочисленными, что послужили основой для формирования отдельной научной дисциплины — инженерной психологии.

Непосредственным толчком к ее развитию послужили недостатки военной техники, которую применили во второй мировой войне. Летчики, танкисты, управляя техникой, часто допускали одни и те же ошибки, тем самым снижая эффективность ее использования. Новая более сложная техника оказалась не согласованной с психофизиологическими возможностями человека.

Таким образом, с усложнением техники возникла необходимость проектировать новые автоматизированные системы с учетом психологических и физиологических характеристик деятельности оператора. Решение подобных задач стало возможным только путем объединенных инженерных и психологических исследований. Так на стыке техники и психологии возникла новая область знания — инженерная психология. Бурно развиваясь, она вовлекла в свою сферу математиков, физиков, а также физиологов, врачей и других специалистов, предметом исследования которых является человек.

Инженерная психология предназначена для согласования характеристик технических устройств с психофизиологическими характеристиками оператора с целью обеспечения

надежной и эффективной работы как оператора в автоматизированной системе управления, так и всей системы "человек-машина" в целом. Она занимается также выявлением характеристик деятельности оператора для имитации их в замкнутом контуре регулирования (моделирования).

Инженерная психология является частью более широкой научной дисциплины - эргономики, изучающей трудовые процессы, для создания оптимальных условий труда.

Развитие инженерной психологии идет по двум руслам: содержательному исследованию поведения человека в системе управления и выявлению математических моделей, адекватно описывающих эмпирические характеристики оператора.

В современной инженерной психологии можно выделить [37] пять главных направлений развития:

Первое, психофизиологическое направление занимается выявлением и исследованием психофизиологических характеристик человека (которые выражаются качественно или количественно), выявлением роли различных психических процессов в деятельности оператора.

Второе, системотехническое направление включает в себя вопросы исследования деятельности оператора в сложных автоматизированных системах, разработки методов оптимального согласования технических характеристик систем с возможностями человека, выявления условий для автоматизации отдельных функций человека и принципов их моделирования.

Третье, инженерное направление занимается применением теоретических положений инженерной психологии для проектирования сложных автоматизированных систем. Оно включает в себя задачи выбора и разработки форм индикации контрольных приборов и сигнальных устройств, компоновки приборных панелей, выбора органов управления и их технических характеристик, приспособления рабочего места для наиболее эффективной работы оператора.

Четвертое направление - эксплуатационная инженерная психология объединяет вопросы исследования работоспособности операторов в различных режимах и условиях действия си-

стемы, исследования точности, надежности и эффективности их работы, разработки психических основ научной организации труда.

Пятое - инженерно-педагогическое направление занимается профессиональным отбором операторов, выявлением и анализом закономерностей их обучения, исследованием характеристик формирования технических знаний, навыков и умений, разработкой критериев обучения.

Указанное деление направлений развития инженерной психологии пока нельзя считать установившимся, а круг названных задач, решаемых отдельными направлениями, не является полным. Однако, перечисленные проблемы могут служить показателем широты диапазона вопросов, исследованием которых занимается современная инженерная психология.

## I. ЧЕЛОВЕК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

### I. Особенности деятельности оператора в системе "человек-машина"

Механизация и автоматизация трудовых процессов существенно расширили возможности производства и в то же время значительно изменили условия трудовой деятельности. Возникли новые особенности условий труда. Отметим главные из них.

1. Оператор управляет одновременно несколькими объектами, часто выполняя ряд несходных между собой задач. Так летчик-истребитель в полете должен одновременно управлять самолетом и двигателем, управлять вооружением, вести радиосвязь, контролировать воздушное пространство и при этом не выпускать из поля зрения множество приборов и сигнализаторов.

2. Оператор удаляется от управляемого объекта. Между оператором и объектом "вклиниваются" системы дистанционной передачи: информацию о состоянии объекта он получает от приборов в виде закодированных сообщений, а воздействие на объект осуществляет посредством дистанционного управления.

3. По иному нагружаются органы чувств оператора. При непосредственной работе с объектом оператор судит о его состоянии, основываясь на восприятии органов зрения, слуха, осязания кинестатического аппарата и даже обоняния (работа кузнеца). В современной же системе управления почти всю информацию об управляемом объекте оператор получает через зрительный канал.

4. В большинстве современных систем оператор действует в условиях дефицита времени. Скоротечность процессов требует от него быстрой реакции управления.

О росте скоростей в XIX и XX вв. свидетельствуют такие цифры.

С 1800 г. по 1900 г. скорость передвижения возросла от 20 до 100 км/час.

С 1900 по 1950 г. скорость передвижения возросла от 100 до 1200 км/час.

С 1950 по 1961 г. скорость передвижения возросла от 1200 до 28800 км/час.

5. Появились новые психофизиологические факторы. Так в космическом полете оператор действует в совершенно необычных условиях: при больших перегрузках или невесомости, длительном одиночестве. Или, например, на современном самолете при скорости полета, равной тройной скорости звука, летчик видит под самолетом предметы, которые фактически сместились и остались уже позади на расстоянии 100 метров - скорость восприятия летчика не успевает за скоростью полета.

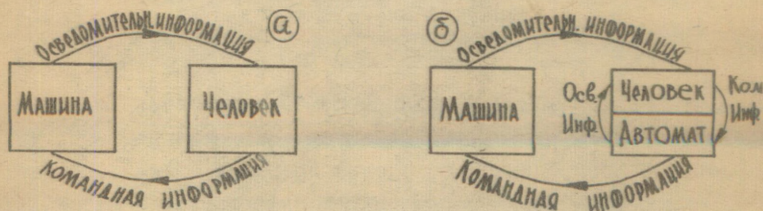
### 2. Человек как звено в системе управления

Операторы, действующие в одной и той же системе управления, могут характеризоваться общностью признаков. Эти признаки, несмотря на индивидуальные различия людей, благодаря статистике, поддаются формализации и математическому описанию. Поэтому оператора можно представить в виде звена и описать его действия математической зависимостью. Однако при этом следует учитывать, что для такого сложного и многогранного звена, каким является человек, подобное описание пока может быть весьма приближенным и рассчитанным только на решение конкретного круга задач в определенных условиях работы. Описывая деятельность человека условной схемой, которая используется для описания машин, мы не стираем их качественных различий. Действия оператора по управлению системой, наряду с решаемой задачей, обусловлены многими психофизиологическими факторами, в том числе и общественными отношениями, существующими за сферой данной системы.

Под термином "система" принято понимать любой комплекс

динамически связанных звеньев. Если система включает в свою структуру человека и он, являясь одним из ее звеньев, участвует в переработке материи, энергии и информации такой комплекс будем называть системой "человек-машина".

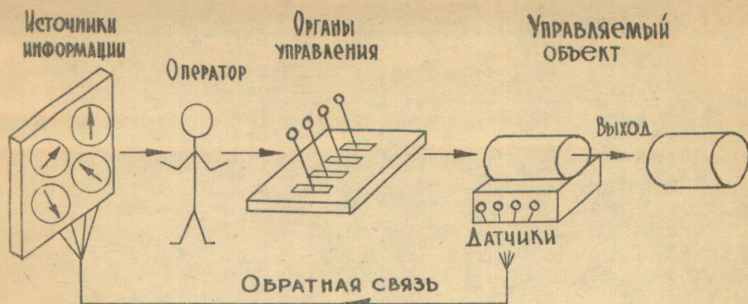
Систему "человек-машина" можно грубо представить в виде двух звеньев: человека – субъекта труда, и машины – объекта труда (фиг. I). В системе "человек-машина" идет непрерывный информационный обмен: от машины к человеку идет осведомительная информация, от человека к машине – командная (фиг. Ia). Подобная циркуляция информации характерна для кибернетических систем, поэтому систему "человек-машина" можно рассматривать как одну из их разновидностей. Существуют и такие системы, в которых человек управляет машиной посредством автомата (фиг. Ib). В таких системах



Фиг. I. Блок-схемы систем "человек-машина" (а) и "человек-автомат" (б).

человека и автомат обычно изображают схематически в виде одного общего звена "человек-автомат", части которого взаимодействуют как между собой внутри звена, так и с соседним машинным звеном. Такое изображение указывает на то, что в системах "человек-автомат" функции человека и автомата максимально сближены и переплетены [53].

Рассмотрим другую, более развернутую схему деятельности оператора в замкнутой системе управления (фиг. 2).



Фиг. 2. Блок-схема деятельности оператора в замкнутой системе управления.

Все изменения управляемого объекта фиксируют датчики, сигналы от которых подаются контрольным приборам. Оператор воспринимает сообщения приборов, расшифровывает их и в соответствии с полученной информацией и заданной программой перемещает органы управления так, чтобы достичь оптимального соответствия динамики объекта этой программе. Действия оператора вызывают изменение состояний управляемого объекта, о чем оператор узнает по тем же контрольным приборам. В данной системе регулирования оператор связан с управляемым объектом прямой и обратной связью.

### 3. Возможности человека и машины в системе управления

Процесс регулирования в системе "человек-машина" определяется рядом характеристик: временем регулирования, точностью, надежностью, эффективностью. Эти характеристики оказываются в значительной мере обусловленными действием

звена "человек". Так в авиации большой процент аварий происходит по вине летчика: из-за ошибок в оценке информации приборов, ошибок управления, запоздалых действий и т.п.

Современные кибернетические машины способны выполнять отдельные функции человека в системе управления по приему, хранению, переработке и ретрансляции информации. Но пока это лишь отдельные частные задачи. Обеспечить в целом действие системы управления, с учетом всевозможных вариантов ее работы, может только такое интегрирующее звено, каким является человек. Причем интегрирующие функции человека проявляются не только в процессе управления, но и при контроле за работой системы, так как и в этой функции объединены задачи приема, переработки и хранения информации.

Сравним возможности человека и машины в системе управления.

1. Как было отмечено, деятельности человека в системе управления присуща интегральная функция, человек способен ее выполнять лучше, чем машина.

2. По возможности восприятия разнообразной информации человек пока идет впереди машины. Сенсорный вход человека сравнительно широк, пластичен и гибок. Человек способен замечать оттенки, тонкости информации, оценивать тенденции ее изменения, воспринимать информацию по косвенным признакам, брать ее за расчетными для системы пределами. Машина же воспринимает только непосредственно адресованные прямые сигналы.

3. По скорости восприятия и переработки информации машина превосходит человека. Человек способен переработать в секунду 20-30 двоичных единиц информации, машина же - в сотни и тысячи раз больше.

4. По разнообразию возможностей переработки информации, способности разносторонне анализировать и синтезировать ее, по гибкости и тонкости выполнения этих операций человек во много раз превосходит машину.

5. По точности и скорости переработки информации ма-

шина впереди. Те задачи, которые машина способна решать; она решает несравненно быстрее и точнее человека.

6. По разнообразию исполнительных функций человек опережает машину. Его действия более многообразны, более пластичны; он может легко и быстро перестраиваться в зависимости от условий, может находить новые способы исполнения.

7. По скорости выполнения управляющих действия, а часто и по точности, человек уступает машине.

8. Машина, в отличие от человека, не способна забывать программу, утомляться, отвлекаться.

Таким образом все достоинства человека, как и его недостатки, вытекают из физиологических и психологических качеств. Чтобы понять природу этих качеств, необходимо исследовать процессы восприятия и переработки информации, процессы памяти и мышления, по возможности выявить механизмы их действия. Следовательно, инженерно-психологические исследования должны быть как инженерными, так и психологическими, так как и в системе управления человек всегда остается человеком.

#### 4. Согласование функций человека и машины

Мы показали, что человек и машина в разной степени способны справляться с решением отдельных задач, возникающих в системе управления. Задача инженерной психологии правильно распределить эти функции между человеком и машиной, и тем самым обеспечить максимальную эффективность процесса управления. Для этого нужно прежде всего выявить "узкие" места в действии как машины, так и человека и, если потребуются, перераспределить между ними функции. Можно идти и по пути специального отбора операторов, способных по своим индивидуальным качествам наилучшим образом решать поставленную задачу. Этим вопросом также занимается инженерная психология. Чтобы выбрать наиболее рациональный путь, нужно провести анализ работы всей системы

в целом, выявить основные характеристики взаимодействия человека с машиной, которые помогут полнее использовать широкие функциональные, приспособительные и творческие возможности человека, а также избавиться от недостатков техники, препятствующих эффективной работе оператора.

Иначе говоря, нужно выявить переменные, от которых зависит качество действия оператора в рассматриваемой системе управления при данных условиях работы. Варьируя соответствующим образом эти переменные, можно достичь наиболее эффективного действия оператора и всей системы "человек-машина".

Рассмотрим влияние приспособительных возможностей оператора на точность отсчетов показаний приборов на конкретном примере. Мы исследовали погрешности, с которыми летчики отсчитывают показания авиагоризонта — основного пилотажного прибора [24]. Оказалось, что точность отсчетов довольно грубой шкалы углов крена этого прибора (имеющей цену деления  $5^{\circ}$ ) равна  $\pm 1,3^{\circ}$ . С такой высокой точностью летчики не отсчитывали показания ни одного другого пилотажного прибора, даже с менее грубой шкалой. Полученный результат можно объяснить, исходя из задачи, которую решает летчик: при пилотировании он должен особенно точно выдерживать положение самолета относительно его продольной оси. В данном случае практическая необходимость заставила летчика приспособиться к довольно грубой шкале авиагоризонта и получать от этого прибора такую информацию, которая требуется для управления самолетом с заданной степенью точности. В данном примере согласованная (по точности) работа летчика с авиагоризонтом была достигнута благодаря творческим, приспособительным возможностям человека. Нужно, очевидно, чтобы и остальные приборы также были согласованы с возможностями и потребностями оператора, обеспечивая его эффективную работу в системе управления.

Следует отметить, что требуется согласование не только "входа" звена оператора (его сенсорных характери-

стик) с характеристиками технических звеньев, но и "выхода" этого звена. Органы управления должны быть согласованы с характеристиками моторных действий оператора. Благодаря автоматизации удалось передать машине большую часть двигательных операций. Поэтому при современной технике в деятельности оператора на передний план выдвинулись его психические функции. Однако этот факт не умаляет важность вопроса согласования двигательных характеристик оператора с органами управления.

Так каковы же критерии распределения функций между машиной и человеком?

На каждом этапе развития техники какие-то функции лучше выполняет человек, какие-то — машина. Исходя из этого и следует распределять функции между человеком и машиной. "Отдайте же человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное, — писал Н. Винер. — В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин". [II] .

## 5. Информационные модели и оперативное мышление

В автоматизированной системе оператор лишен возможности непосредственно наблюдать управляемый объект и вынужден судить о его состоянии по информации, поступающей к нему через канал связи. Деятельность человека, совершаемая не с реальными объектами, а с их заместителями или имитирующими их образами, называется деятельностью человека с информационной моделью реального объекта. Эти модели с определенной степенью точности отражают как свойства реальных объектов, так и взаимосвязь этих свойств с состоянием объекта.

Шофер, который по показаниям спидометра, манометра масла и термометра воды судит о работе мотора автомобиля, действует с информационной моделью. Рабочий же, который по команде на приборе одообразно нажимает имеющийся у не-

го единственный рычаг, уже не действует с информационной моделью. Здесь сигналу на приборе соответствует однозначный ответ человека, и ему не требуется каждый раз мысленно соотносить показания прибора с состоянием управляемого объекта. Он может ничего не знать об объекте. Действия такого рабочего могут быть легко описаны алгоритмом. В подобных случаях человека в системе управления обычно заменяют автоматом.

Для технических звеньев существует жесткая зависимость между входными и выходными сигналами — определенная передаточная функция. Передаточная же функция звена "человек", благодаря особенностям этого звена, может меняться в зависимости от поставленной задачи. Такая способность человека называется оперативностью, а процесс перестройки передаточной функции в зависимости от задачи, — оперативной настройкой. Благодаря оперативной настройке, информационная модель в сознании оператора отражается в виде оперативного образа, адекватного задаче, поставленной перед оператором.

Так информационная модель, созданная посредством контрольных приборов автомобиля, может вызвать у шофера различные оперативные образы. Если в машине мало бензина, шофер оценивает работу двигателя с точки зрения экономичности расхода горючего; если же в двигателе ранее была какая-то неисправность, он рассматривает работу двигателя с точки зрения возможности ее повторения.

Работа с информационной моделью характеризуется рядом особенностей:

1. Действуя с информационной моделью, оператор соотносит сведения, полученные от приборов, экранов, табло, как между собой, так и с реальным объектом.
2. В процессе такого соотношения информации с состоянием объекта происходит декодирование полученной информации.
3. Из соотношения имеющейся информации с реальным объектом, оператор способен реконструировать некоторые па-

раметры, не получившие отражения в информации (так, шофер автомобиля по температуре двигателя может судить о составе горючей смеси).

4. Исходя из оперативного образа и опыта управления, оператор может предвидеть изменение режима работы объекта и, следовательно, появление новой информации.

5. Благодаря знанию взаимосвязи, существующей между отдельными сообщениями, и действию с оперативным образом, оператор способен различать сигналы на фоне помех — у него появляется подпомеховая видимость.

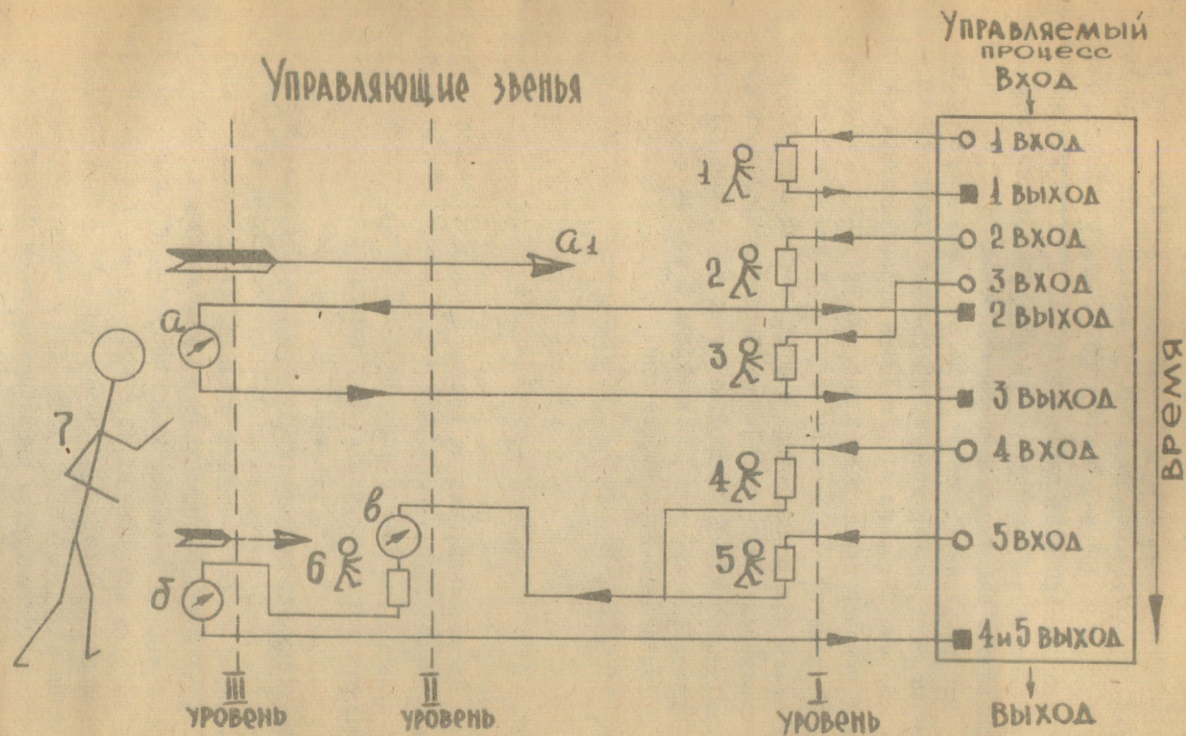
Деятельность оператора с информационными моделями управления реальными объектами является одним из главных вопросов инженерной психологии.

Рассмотрим в качестве примера работу неавтоматизированной системы управления некоторым процессом. На фиг. 3 дана схема системы, в которой показана роль операторов на разных уровнях управления [24].

Операторы I уровня (1,2,3,4,5) выполняют простейшие операции, функции которых описываются алгоритмически. Операторы 2 и 3 работают с перекрытием: 3-ий выполняет работу, не зная как сделал 2-ой. Их работу корректирует оператор 7, действуя на основе показаний прибора, а не оператора 2.

Операторы 4 и 5 выполняют функции управления по двум разным линиям, имеющим общий выход. Оператор 6 находится на II — более высоком уровне. По прибору в он корректирует параллельную работу операторов 4 и 5. Качество работы оператора 6 контролирует по прибору б оператор 7, который действует уже на более высоком уровне — уровне III. На основе показаний приборов а и в, оператор 7 корректирует работу всего комплекса, и по своим задачам действует уже с информационной моделью.

В сложных современных системах управления оператор принимает решение и действует, исходя из более обширной информации, чем та, которую он получает от информационной модели. На основе полученных ранее знаний и опыта работы



Фиг.3. Схема работы неавтоматизированной системы управления  
(по В.П.Зинченко, А.Н.Леонтьеву, Д.В.Панову).

оператор заблаговременно располагает определенным объемом дополнительных сведений о состоянии системы по сравнению с теми, которые отражены в информационной модели или вытекают из нее. Данные, полученные от информационной модели, плюс эти дополнительные сведения служат фундаментом для формирования концептуальной модели, обуславливающей деятельность оператора в системе управления. Таким образом, информационная модель определяет лишь часть содержания концептуальной модели. Но так как эта часть является главной, принято считать, что информационная модель служит основой для формирования концептуальной модели. Следует отметить одно важно принципиальное различие, существующее между понятиями "информационная модель" и "концептуальная модель". Первое понятие определяет материальную форму, в которой выражена информация, второе — то представление, которое возникло в голове оператора под воздействием этой информации.

+

+            +

Мы отмечали, что во многих системах процесс управления нельзя описать каким-либо алгоритмом. Более того, в отдельных системах трудно предвидеть все состояния, которые они могут принимать. Так практически просто невозможно предусмотреть различные условия динамики полета при разных отказах авиационной техники. Тем более нельзя предусмотреть алгоритмы деятельности летчика на все эти случаи. И когда возникают условия, для которых заранее не предусмотрена определенная схема действия, где существует целый ряд способов действия, и из них оператор должен выбрать оптимальный, в таком случае он вынужден решать логическую задачу. Процесс решения подобных задач называется оперативным мышлением.

Под оперативным мышлением в общем случае понимае-

тся такой процесс решения практических задач, который осуществляется на основе моделирования оператором объектов трудовой деятельности, в результате которого в данной ситуации формируется модель предполагаемой совокупности действий (план операций), обеспечивающей достижение поставленной цели. Оперативное мышление включает выявление проблемной ситуации и систему ее мысленных и практических преобразований.

В.Н.Пушкин [59], занимавшийся глубоким исследованием оперативного мышления, поясняет это определение следующим образом: "Если прежде чем отреагировать на ту или иную программную ситуацию оператору необходимо отразить, мысленно воссоздать, представить элементы, из которых складывается эта ситуация, а затем привести в движение отражения, образы этих элементов и на основе такого перемещения увидеть план будущего действия или совокупности действий, то здесь имеет место оперативное мышление. В случае, когда действие однозначно следует из ситуации, независимо от его сложности и структуры сигнала, деятельность такого рода является просто ответной реакцией".

Понятие "оперативное" обычно употребляется в трех значениях: - когда деятельность оператора складывается из отдельных операций, - когда деятельность протекает оперативно (в смысле быстро), - когда мышление связано с трудом и является элементом трудовой деятельности<sup>х)</sup>.

Впервые проблему оперативного мышления наиболее полно раскрыл Б.М.Теплов (1944). Он показал, что развитие практического интеллекта состоит в приобретении умения "быстро разбираться в сложной ситуации и почти мгновенно находить правильное решение", то есть в выработке интуиции, в которой своеобразно соединены образное (наглядное) и словесно-логическое мышление [по 34]

Д.Ю.Панов и В.П.Зинченко [24] подразделяют все системы, с точки зрения оперативного мышления, на два клас-

х)  
*ореза* (лат) - труд.

са: детерминированные и недетерминированные. Детерминированные системы действуют только по жесткой программе. При появлении условий непредвиденных программой, такие системы просто отказывают. Для управления подобными системами не требуется оперативного мышления. Недетерминированные системы рассчитаны на ситуации, при которых отсутствует жесткая программа управления. Если в первом классе систем человек был при системе, то во втором - он важнейшее звено, без которого система не может работать.

Недетерминированные системы Панов и Зинченко делят на два подкласса:

- системы, в которых ситуации, требующие принятия решения, возникают эпизодически, где в основном действует автомат (так при полете с автопилотом, летчик только изредка вмешивается в управление),

- игровые системы, в них поведение человека определяется непрерывной целью решаемых задач (пилотирование самолета вручную).

Д.Н.Завалишина и В.Н.Пушкин [21] [59], на основе исследования процесса оперативного мышления и его механизма, пришли к заключению, что он состоит из трех основных компонентов.

1. Структурирование, которое проявляется в образовании более крупных единиц действий, на основе связывания элементов ситуации между собой. Этот процесс заключается в аналитико-синтетической деятельности по оценке местоположения элементов и существующих между ними связей. Структурирование определяет деятельность по организации и упорядочению элементов задачи в структурное целое.

2. Динамическое узнавание - обнаружение частей конечной ситуации в исходной, проблемной ситуации. Узнавание может быть в какой-то определенной, сравнительно узкой зоне поиска. Оно может быть и при решении задач, для которых область поиска не определена (например, при выявлении непривычных связей). Завалишина показала, что про-

цесс решения задач узнавания протекает в трех формах -  
- узнавание подзадачи; узнавание ситуации, встречавшейся  
ранее; узнавание в наличной ситуации конечного эталона.

3. Формирование алгоритма решения, то есть выработка принципов и правил решения, а также в каждом конкретном случае - определение последовательности действий. Прослеживая процесс решения, авторы выявили три этапа. На первом этапе наблюдается стремление действовать только с одним элементом ситуации, каждый элемент здесь выступает, как одномерный вектор. На втором этапе имеет место группировка элементов определенным образом. Третий этап состоит в выработке общих принципов решения данной задачи, обеспечивающих соединение одних элементов и исключение других, неудовлетворяющих связям, соответствующим данной задаче.

Оперативное мышление - один из важнейших этапов деятельности оператора в системе управления, во многом определяющий эффективность всей ее работы. Поэтому при проектировании систем "человек-машина" нельзя ограничиваться рассмотрением только функций "входа" и "выхода" машины, а требуется учесть и способы решения задач, характерные для человека и машины. Распределение функций между человеком и машиной, приспособление систем к человеку должно производиться из соображений создания для оператора условий, благоприятствующих решению мыслительных задач, возникающих в процессе управления машиной. Попутно стоит задача исследования и анализе умственной деятельности оператора, процесса его оперативного мышления с целью передачи некоторых элементов этих процессов счетно-решающим машинам.

Таким образом, если в начале возникновения проблемы "человек-машина" исследователей в основном интересовала "внешность" машины, то с появлением больших сложных систем возникла необходимость учитывать при разработке систем и особенности оперативного мышления, связанного с их управлением.

При проектировании машин конструктор должен стремиться к достижению адекватности информационной модели отображе-

емым процесса и ее соответствия задачам; решаемым оператором в системе управления. Адекватность же концептуальной модели задачам оператора достигается в процессе оперативной работы и на основе предварительного обучения.

## 6. Эффективность кодирования

Для оценки степени соответствия информационных характеристик приборов, сигнализаторов, экранов, табло и других источников информации своему назначению, используется понятие эффективности кодирования. Оно включает в себя оценку информации, выдаваемой прибором, как по скорости и точности ее восприятия, так и по степени пригодности этой информации для построения концептуальной модели и оперативных образов.

Эффективность кодирования — обобщающая характеристика информационных свойств прибора в данной системе управления. Эта характеристика особенно важна для систем управления, в которых оператор получает большой объем информации и деятельность его ограничена во времени. Множество разнообразных требований, предъявляемых в подобной системе к приборной информации, можно объединить одним требованием — достижением заданной эффективности кодирования.

Решение вопроса оптимального кодирования информации сейчас осуществляется двумя путями:

— созданием систем, в которых форма индикации максимально напоминала бы отражаемый объект (радиолокационное изображение на экране индикатора или "силуэтик" самолета на шкале авиагоризонта).

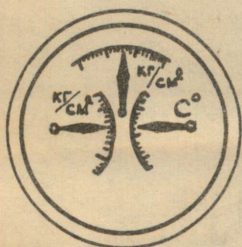
— выбором условных знаков, не похожих на отображаемый объект, но легко воспринимаемых оператором.

Очевидно, оптимальной является такая форма кодирования, при которой отношение числа признаков сигнала к числу признаков объекта равно единице. При этом важно обеспечить строгую субординацию признаков, в соответствии с которой должна находиться степень их различимости.

Для выбора кода, который наилучшим образом будет восприниматься оператором, необходимо исследовать методы кодирования, к которым обычно прибегает человек.

Человек в процессе обучения незаметно для себя сам выбирает и регулирует способ кодирования. Методом последовательных приближений он создает эффективный код. Так, когда человек учится читать, единицей его кода вначале является буква, потом — слог, далее — слово, отрывок фразы. Затем человек приобретает умение схватывать смысл абзацев и, при особой тренировке, даже целых страниц. Здесь по мере обучения новые зрительные образы становятся единицами оперативного восприятия. Так же и оператор на пульте управления: пока он неопытен его единицей восприятия будет один прибор, с приобретением опыта, такой единицей становится группа приборов.

На самолете имеется трехстрелочный индикатор, контролирующий сразу три параметра режима работы двигателя: давление топлива, давление масла и его температуру (фиг. 4). Для неискущенного наблюдателя единицей восприятия на этом приборе будет положение каждой стрелки. Для опытного же летчика оперативной единицей восприятия служит положение сразу трех стрелок. Если стрелки на приборе образуют перевернутое "Т", значит параметры работающего двигателя в норме. Любое искажение этой буквы — сигнал о ненормальности в работе двигателя.



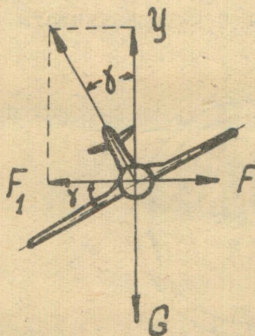
Фиг. 4. Трехстрелочный индикатор.

В вопрос освоения кода входит также выбор эффективного маршрута обзора источников информации.

Можно ли выразить характеристику эффективности кодирования количественно? Пока нет. О ней сейчас судят только косвенно. Известно, что человек располагает ограниченной пропускной способностью информации. По тому, насколько быстро воспринимается оператором та или иная информация, можно оценить эффективность ее кодирования.

В качестве примера приведем результаты одного нашего исследования [28]. Требовалось дать оценку информации об угле крена самолета с точки зрения эффективности кодирования. Мы уже отмечали, что величина угла крена на самолете измеряется авиагоризонтом. Покажем, что этот параметр можно определить и по другим пилотажным приборам.

На самолет, находящийся в крене и выполняющий координированный разворот, действует ряд взаимно-уравновешивающихся сил (фиг. 5). Вес самолета  $G = mg$  уравнивается вертикальной составляющей подъемной силы  $Y$  ( $m$  — масса самолета,  $g$  — ускорение силы тяжести). Центробежная сила  $F_1$  уравнивается центробежной силой  $F = \frac{mV^2}{R}$  (где  $V$  — скорость самолета,  $R$  — радиус разворота). Как следует из фиг. 5:



Фиг. 5. Схема сил, действующих на самолет при координированном развороте.

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{F_1}{y} = \frac{mV^2}{R \cdot mg},$$

$\gamma$  - угол крена самолета.

Учитывая, что угловая скорость разворота  $\omega = \frac{v}{R}$ , получаем:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{v\omega}{g}.$$

Выразим последнюю зависимость в приращениях:

$$\frac{\Delta \gamma}{\cos^2 \gamma} = \Delta \omega \frac{v}{g} + \Delta v \frac{\omega}{g}.$$

Обычно в полете летчик выдерживает  $v = \text{const}$  (то есть  $\Delta v = 0$ ), поэтому  $\frac{\Delta \gamma}{\cos^2 \gamma} = \Delta \omega \frac{v}{g}$ , откуда находим:

$$\Delta \omega = \frac{\Delta \gamma g}{\cos^2 \gamma v}.$$

Угловая скорость в приращении выражается  $\Delta \omega = \frac{\Delta \psi}{\Delta t}$ , где  $\psi$  - угол курса. В результате получаем:

$$\Delta \omega = \frac{\Delta \psi}{\Delta t} = \frac{\Delta \gamma g}{\cos^2 \gamma v}. \quad (\text{I.I})$$

При данной скорости полета ( $v$ ) каждому углу крена ( $\gamma$ ) соответствует вполне определенная угловая скорость разворота ( $\omega$ ) и скорость изменения курса ( $\frac{\Delta \psi}{\Delta t}$ ). Скорость разворота на самолете измеряет специальный прибор - указатель поворота (УП), а скорость изменения курса видна на другом самолетном приборе - указателе курса (УК). Таким образом на основе показаний приборов УП или УК посредством полученной формулы (I.I) можно рассчитать угол крена самолета. Летчики в условиях полета это и делают. Конечно, они не производят в уме каких-либо выкладок, связанных с этой формулой, а решают эту задачу на основе опыта летной работы, в процессе которой они усвоили связь, существующую между показаниями авиагоризонта, указателя поворота и указателя курса для разных скоростей полета. Поэтому приборы УП и УК для летчика являются резервными указателями угла крена самолета.

На шкале авиагоризонта, указателя поворота и указателя курса сообщение об угле крена самолета закодировано в

различной форме. Авиагоризонт выдает информацию о крене в форме, напоминающей отображаемый объект (фиг. 6а). На указателе поворота то же сообщение представлено в виде отклонения индекса - "лопатки" (фиг. 6б). На указателе курса угол крена выражается в определенной скорости перемещения стрелки-самолетика по шкале прибора (фиг. 6в). В реальном полете все эти три прибора одновременно оповещают летчика о крене самолета.



Фиг. 6. Пилотажные приборы - источники информации о крене самолета.

Чтобы оценить эффективность различных форм кодирования информации о крене, определим пропускную способность оператора относительно сообщений, поступающих от рассмотренных приборов.

На основе результатов массового эксперимента [24] с летчиками была определена точность, с которой они отсчитывают углы крена по трем указанным приборам и рассчитано количество информации, получаемой от каждого прибора (см. главу III). Экспериментально установлено время ( $t$ ), затрачиваемое летчиками на восприятие сообщений каждого из указанных приборов. Пропускная способность ( $E$ ) информации ( $J$ ) находится, как отношение:

$$E = \frac{J}{t} \frac{\delta_{\text{инт}}}{\text{сек}} \quad (1.2)$$

Результаты расчетов представлены в табл. I:

Т а б л и ц а I

Наименование прибора	Количество информации в сообщении	Время восприятия сообщ.	Пропускная способность информации
	$J$ бит	$t$ сек	$E = \frac{J}{t} \frac{\delta_{\text{инт}}}{\text{сек}}$
Авиагоризонт	4,52	0,6	7,53
Указатель поворота	2,34	1,0	2,34
Указатель курса	1,91	1,8	1,06

Как видно из таблицы пропускная способность информации о крене, поступающей от авиагоризонта, более чем в три раза превышает пропускную способность аналогичной информации указателя поворота и в семь раз выше пропускной способности информации указателя курса. Таким образом, цифры убедительно показывают превосходство метода кодирования информации, принятого в авиагоризонте.

Результаты проведенных подсчетов несложно обосновать.

Авиагоризонт выдает наиболее точную информацию о крене, поэтому в каждом полученном от него сообщении содержится большее количество информации. Принятая в приборе форма индикации просто и наглядно отображает контролируемый объект, поэтому быстро воспринимается. Отсюда и большая пропускная способность этой информации.

Указатель поворота — менее точный прибор, в его сообщениях содержится меньшее количество информации. К тому же его показания приходится трактовать с учетом скорости полета. Эти факторы и определяют меньшую пропускную способность информации этого прибора.

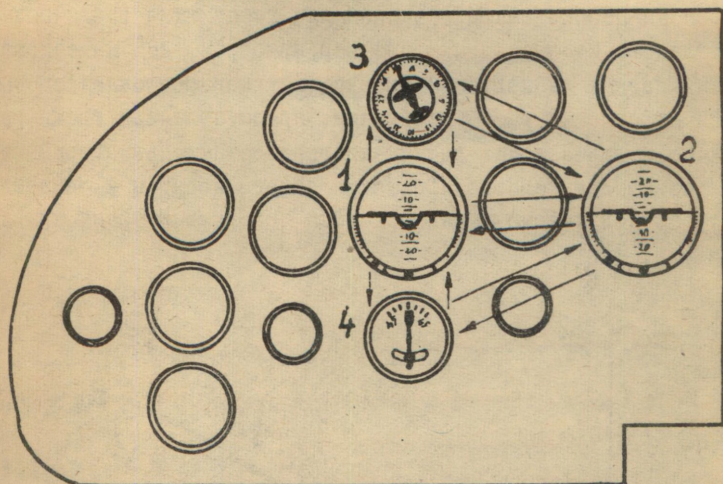
От указателя курса поступает примерно такое же количество информации о крене самолета, как и от указателя поворота. Но информацию о крене с курсового прибора воспринимать значительно труднее. Для этого нужно оценить скорость перемещения стрелки по шкале указателя курса. Для решения такой задачи приходится в уме дифференцировать данные, полученные от этого прибора. Указанное обстоятельство и определило большее время восприятия сообщений о крене от указателя курса и худшую пропускную способность этой информации.

В рассмотренном примере пилотажные приборы оценивались как источники информации, отражающей положение самолета в пространстве. С этой точки зрения определялась их информация, пропускная способность этой информации и эффективность ее кодирования. Однако информацию пилотажных приборов возможно рассматривать и с другой точки зрения.

Пилотажные приборы имеют ограниченную надежность и способны отказывать в работе. Причем отказ пилотажного прибора может повлечь за собой опасные последствия — нарушение безопасности полетов. В последнем примере было показано, что между показаниями пилотажных приборов существует определенная взаимосвязь. Нарушение этой взаимосвязи является сигналом о ненормальности в работе приборов.

Таким образом, пилотажные приборы выдают, кроме информации о положении самолета в пространстве, еще другой вид информации — сведения об исправности работы других приборов. При восприятии каждого вида информации летчик действует с различным оперативным образом. Поэтому, давая оценку эффективности кодирования информации того или иного прибора, нельзя ограничиваться рассмотрением восприятия только одного вида информации. Так, в нашем примере важно еще установить в какой степени информация данного прибора способствует своевременному выявлению отказов других приборов.

На фиг. 7 представлено расположение пилотажных приборов - авиагоризонта, указателя поворота и указателя курса на приборной доске. Для большей безопасности полетов рядом с основным авиагоризонтом обычно устанавливают дополнительный - резервный авиагоризонт.

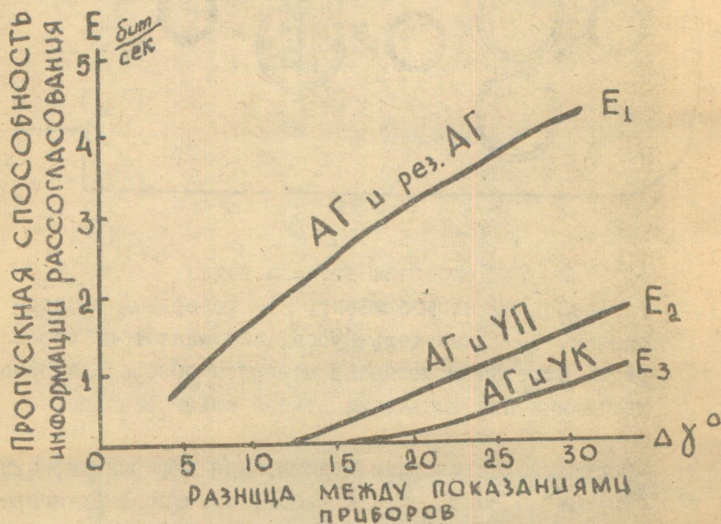


Фиг. 7. Приборная доска летчика  
 1 - основной авиагоризонт, 2 - резервный авиагоризонт, 3 - указатель курса, 4 - указатель поворота. Стрелки показывают маршруты обзора приборов летчиками при выявлении отказа авиагоризонта.

Оценку эффективности кодирования информации, свидетельствующей о ненормальной работе основного авиагоризонта - наиболее важного пилотажного прибора можно дать исходя из пропускной способности интересующей нас информации.

При отказе основного авиагоризонта (АГ) возникает информация рассогласования между показаниями этого прибора и любым из трех резервных приборов: резервным авиагори-

зонтом (рез. АГ), указателем поворота (УП) и указателем курса (УК). Методами теории информации представляется возможным определить информацию рассогласования, возникающую при тех или иных расхождениях в показаниях пар приборов: АГ и рез. АГ, АГ и УП, АГ и УК. Такие расчеты были нами проделаны. Затем был поставлен эксперимент по определению времени, необходимого летчикам для восприятия различных рассогласований указанных выше пар приборов [28]. На основе этих данных мы получили характеристики пропускной способности информации рассогласования, представленной тремя различными вариантами: двумя авиагоризонтами, авиагоризонтом и указателем поворота, а также авиагоризонтом и указателем курса. Полученные характеристики изображены тремя кривыми на фиг. 8.



Фиг. 8. Зависимость пропускной способности информации рассогласования от разницы в показаниях приборов.

Расположение кривых показывает, что наилучшей пропускной способностью характеризуется информация рассог-

ласования, возникающая между двумя авиагоризонтами. Очевидно эта информация имеет наибольшую эффективность кодирования. Самая низкая эффективность кодирования оказалась у информации рассогласования, возникающей между показаниями приборов АГ и УК.

Представляло интерес проверить на практике правильность полученных результатов. Для этого нами были проведены специальные летные эксперименты [30]. В условиях реального полета незаметно для летчика вводилась ошибка в показаниях основного авиагоризонта и с помощью киноаппарата фиксировалась деятельность летчика по ее обнаружению. Можно было предполагать, что информация, отличающаяся наибольшей эффективностью кодирования, будет и наиболее эффективной при обнаружении отказа прибора. Однако результаты оказались несколько иными. Опыты показали, что большинство летчиков выявляли неисправность основного авиагоризонта с помощью указателя курса — по рассогласованию в показаниях приборов АГ и УК, то есть посредством информации, имеющей самую низкую эффективность кодирования.

Как же объяснить полученный результат? Его обусловил метод обзора приборов, которым пользовались летчики. Согласно принятому маршруту обзора приборов, авиагоризонт и указатель курса находятся под постоянным контролем летчика. На дополнительный авиагоризонт летчик не смотрит (для пилотирования ему вполне достаточно информации одного авиагоризонта), а за счет периферического зрения информация рассогласования между двумя авиагоризонтами не воспринимается. Указатель поворота контролируется летчиком сравнительно редко. Все эти обстоятельства и обусловили тот факт, что при обнаружении неисправности авиагоризонта летчики использовали именно информацию, закодированную наименее эффективным образом. Но после обнаружения рассогласования в показаниях приборов АГ и УК нужно было еще установить какой же из двух приборов дает ложные показания. Для решения этого вопроса почти все летчики прибегали к использованию дополнительного авиагоризонта, то есть пользовались информацией

рассогласования двух авиагоризонтов, имеющей наиболее высокую эффективность кодирования.

Приведенный пример показывает, что характеристика эффективности кодирования, количественно выраженная через пропускную способность информации, является весьма относительным показателем соответствия прибора своему назначению. Для более полной оценки приборов приходится выявлять эту характеристику с точки зрения пригодности прибора для создания различных оперативных образов, с которыми действует оператор. Причем эффективность использования приборной информации оператором, как показывает приведенный пример, оказывается функцией не только эффективности кодирования, но и других сторон деятельности оператора.

## П. ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

### 1. Время реакции как индикатор в инженерно-пси- хологических исследованиях

Одним из самых удобных и доступных показателей при исследовании деятельности человека является время его реакции на раздражитель. Между информацией, воздействующей на оператора в качестве раздражителя, и его ответными реакциями устанавливаются многообразные, но вполне закономерные, объективные отношения. Одной из форм выражения этих отношений является скорость протекания психических актов при разных условиях их осуществления, которая оценивается по времени реакции. Эта оценка получается объективной, так как выражает существующие отношения через объективную категорию времени.

Методика определения времени реакции состоит в регистрации тем или иным техническим способом промежутка времени между началом действия раздражителя (одновременно являющимся начальным моментом изучаемого психического процесса) и началом ответной двигательной или речевой реакции. Измерение времени реакции при исследованиях осуществляется хроноскопически (после измерения записываются результаты) или хронографически (результаты во время измерения регистрируются на бумаге или фотопленке). Временные характеристики деятельности человека могут также исследоваться с помощью тахистоскопа — прибора, позволяющего ступенчато дозировать время предъявления информации.

Глубокий анализ характеристик времени реакции и систематизацию исследований по этому вопросу провел Е.И. Бойко [4]. Повышенный интерес к изучению времени реакции

он объясняет следующими причинами:

- практическими исследованиями систем "человек-машина", в целях развития промышленной и военной техники;
- теоретико-информационным подходом к изучению пропускной способности человеческого звена в сложных системах;
- потребностями нейрофизиологии, медицины, физического воспитания и т.п.

Характеристики времени реакции находят самое разнообразное применение в инженерно-психологических исследованиях:

- они являются лабораторным показателем как деятельности оператора в системе управления, так и нервных механизмов этой деятельности;
- они позволяют вскрывать физиологическое состояние оператора, тренированность, наличие навыков;
- характеристики времени реакции позволяют выявить механизм формирования у оператора различных способов деятельности.

Самой элементарной разновидностью реакции является простая сенсомоторная<sup>х)</sup> реакция. В подобных реакциях человек выполняет то или иное движение (нажимает кнопку, перемещает рычаг и т.п.) в ответ на заранее известный, но внезапно появляющийся сигнал с возможной для него максимальной скоростью. Время задержки складывается в этом случае из латентного периода реакции (времени от момента появления сигнала до начала движения) и времени моторного компонента (длительности ответного движения). Реакции этого типа принято называть А-реакциями. В процессах управления они встречаются редко, так как в системах, где на сигнал требуется максимально быстрый однозначный ответ, человека обычно заменяют автоматом. Однако при измерении латентного

х) Сенсомоторная от лат. *sensorium* - орган чувств и лат. *motor* - приводящий в движение.

периода простой сенсомоторной реакции мы получаем исходные данные, позволяющие судить о протекании психических процессов при более сложных реакциях оператора.

Сенсомоторные реакции, в которых происходит различение двух или нескольких сигналов и, соответственно, выбор одного из двух или нескольких ответов, называют В-реакциями.

Реакции, при которых испытуемому предъявляются два или несколько сигналов, а нужно отвечать на какой-нибудь один, оставляя другие без ответа, называют С-реакциями.

Такую классификацию сенсомоторных реакций дал голландский физиолог Франс Дондерс еще в прошлом столетии. Реакции типа В и С по терминологии школы И.П.Павлова являются дифференцировочными, так как в первой оператор дифференцирует несколько положительных раздражителей, а во второй — положительный среди нескольких отрицательных (тормозных). Такие реакции называют также реакциями выбора (дизъюнктивными).

Разновидностью сенсомоторных реакций является также реакция на движущийся объект (сокращенно РДО). Здесь сигналом для моторного ответа является момент достижения движущимся объектом некоторой заданной точки. С этим видом реакции приходится часто встречаться при исследовании деятельности оператора в системе "человек-машина".

## 2. Механизм реакции человека

В биологическом смысле слова термин "реакция" означает закономерный ответ на внешнее воздействие. Для реакции человека, в отличие от других живых организмов, характерна одна существенная особенность: его движение может физиологически связываться с определенным раздражителем при посредстве слова. Человеческий мозг принято рассматривать как центральный аппарат управления всеми периферическими эффекторами<sup>х)</sup> и, следовательно, всем сложным поведением

х) Эффекторы — органы тела, обеспечивающие ответные рабочие реакции организма на раздражители.

человека.

Через многочисленные рецепторы<sup>x)</sup> в мозг почти непрерывно поступает информация. Она может отражать как события, происходящие во внешнем мире, так и внутри организма. Мозг целесообразно перерабатывает эту информацию и через эффекторные пути посылает соответствующие команды двигательным органам.

Следуя методам инженерной психологии, представим механизм реакции человека посредством блок-схемы. На фиг. 9 дана блок-схема механизма координационного управления двигательным актом, предложенная Н.А.Бернштейном (с уточнениями Е.И.Бойко [4]).

Рецепторы - концевые образования чувствительных (афферентных<sup>xx)</sup>) нервов, воспринимают информацию и преобразуют энергию раздражения в процесс нервного возбуждения. Каждый рецептор обладает специфической возбудимостью к определенным физическим или химическим агентам. Рецепторы имеются во всех частях тела организма, как на поверхности (экстрорецепторы), так и во внутренних органах, сосудах мышцах (интерорецепторы). Под влиянием внешних воздействий у рецепторов изменяется электрическая активность, потенциал. Все рецепторы, несмотря на их различие, преобразуют внешние воздействия в электрические импульсы. Нервные клетки рецепторов могут воспринимать только те сигналы, которые по силе раздражения превышают пороговые значения. В зависимости от силы раздражителя меняется частота электрических импульсов, поступающих от рецептора.

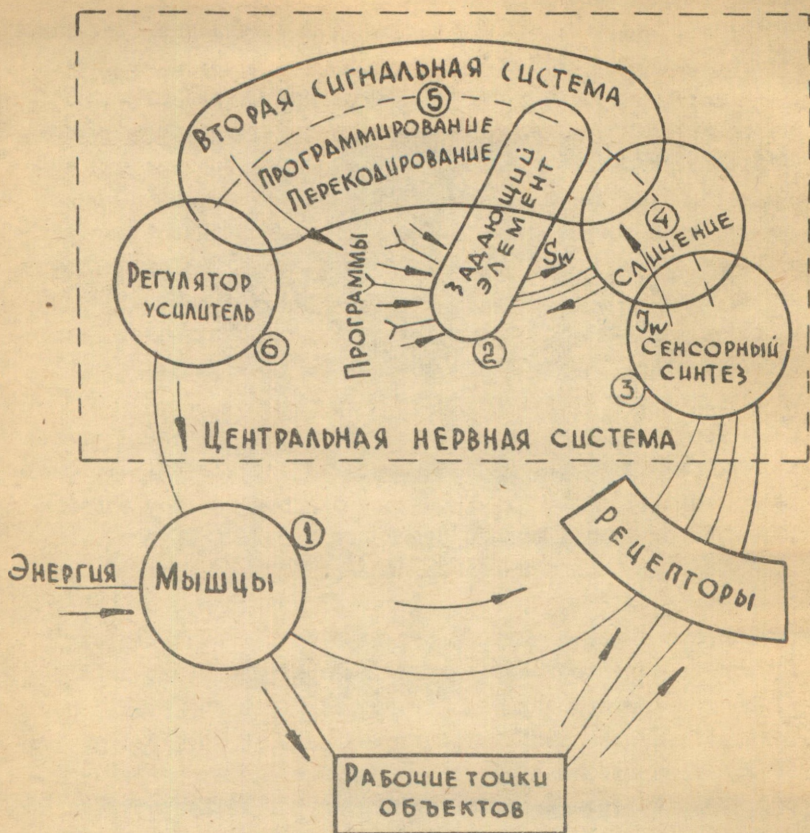
Сигналы от рецепторов, в виде электрических импульсов, модулированных по частоте (в зависимости от силы раздражителя), поступают в центральную нервную систему. Там они

x) Рецепторы (от лат. *recipere* - принимать) - специфические приборы, воспринимающие и преобразующие энергию раздражителя.

xx) Афферентные (от лат. *afferentis* - приносящие) - нервные волокна, проводящие сигналы от различных рецепторов к центральной нервной системе.

вначале попадают в прибор сенсорного синтеза (3), где объединяются ощущения, созданные различными рецепторами. Далее сигнал поступает в прибор сличения (4). В нем происходит сравнение поступивших сигналов с сигналами задающего элемента (2) как по величине, так и по знаку рассогласования. Действие задающего элемента обусловлено установленной программой, памятью, заданием, обученностью оператора. Далее сигнал преобразуется в приборе программирования и перекодирования (5) и, после усиления в регуляторе (6), воздействует на мышцы оператора (I), которые приводят в действие органы управления. Так как действие мышц воспринимается интерорецепторами, центральная нервная система управляет в целом всем двигательным актом.

Центральная нервная система осуществляет также управление афферентацией. Целенаправленная деятельность человека выдвигает необходимость активного сенсорного выбора информации, избирательности по отношению к отдельным раздражителям. Если до начала действия известна цель, которую она преследует, этот факт отражается на физиологических процессах, протекающих в центральной нервной системе. Поэтому функция центрального управления афферентацией отражена в блок-схеме. В ней показана вторая сигнальная система, определяющая влияние словесных отделов коры на проекционные системы анализаторов и высшее второсигнальное управление афферентным потоком импульсов в структуре целенаправленного действия. На блок-схеме показана пунктирная линия, разделяющая блоки 3, 4 и 5 на два уровня, верхний из которых символизирует вторую сигнальную систему и ее теснейшую связь с первой. На схеме видно участие второй сигнальной системы в работе задающего элемента, аппарата сличения и блока афферентных синтезов. Взаимодействие всех четырех блоков (2, 3, 4 и 5) показано через перекрытие кругов, что символизирует принцип второсигнального управления афферентацией. Между блоками 2 и 4, то есть задающим элементом и смесителем, существует непосредственное взаимодействие. На схеме от блока I — мышцы, идут две стрелки: к рабочим точкам объекта и к рецепторам. Это говорит о том, что всякое движение, направ-



Фиг. 9. Блок-схема механизма координационного управления двигательным актом (по Н.А.Бернштейну и Е.И.Бойко).

ленное на изменение внешней среды, вызывает поступление в центральную нервную систему нового потока информации. Посредством движений рук мы можем менять местоположение и качество воспринимаемых нами внешних предметов, а посредством

рецепторов и установочных движений влиять на поступающий в органы чувств восходящий афферентный поток. Кроме того, как уже отмечалось, имеется еще и прямой центральный контроль афферентацией через нисходящие второсигнальные импульсы.

На вопрос о том чем же заполнен латентный период времени реакции Е.И.Бойко дает следующий ответ: "... активным восприятием поступающей в мозг информации, целесообразной переработкой ее и построением соответствующих движений. При этом происходит сложное взаимодействие восходящего потока возбуждений с встречными управляющими импульсами из словесных отделов коры, которые могут избирательно усиливать или подавлять работу всех вовлекаемых в дело нервных структур, ... определяя сложную динамику психофизиологического процесса как в его афферентной и центрально-замкнутой части, так и в области нисходящих эффекторных систем".

### 3. Характеристики чувствительности человека

Время реакции обусловлено чувствительностью, которую принято выражать посредством различных характеристик. Минимальную величину раздражителя, воспринимаемую анализатором, называют нижним абсолютным порогом чувствительности, а максимальную величину раздражителя, которую способен воспринять анализатор,<sup>х)</sup> - верхним абсолютным порогом. По нижнему порогу судят об абсолютной чувствительности анализатора к интенсивности раздражителя.

Чувствительность (E) обычно выражают как величину, обратную величине нижнего порога раздражителя ( $\mathcal{J}$ ):

$$E = \frac{1}{\mathcal{J}}$$

х) Анализатор - более широкое понятие, чем "орган чувств". В анализатор входят как периферические рецепторы, так и весь проводящий путь сигналов, включая ту область коры головного мозга, куда они поступают.

Чувствительность можно характеризовать и дифференциальным порогом - минимальным различием двух раздражителей ( $\Delta J$ ), которое возможно распознать по разнице в ощущениях. Очевидно распознаваемое приращение интенсивности раздражителя будет зависеть от интенсивности исходного раздражителя. Вебер установил следующую связь между указанными характеристиками:

$$\frac{\Delta J}{J} = K. \quad (2.1)$$

То есть отношение минимально различимого приращения интенсивности раздражителя к исходному значению раздражителя остается неизменным, равным постоянной К. Однако дальнейшие опыты показали, что это соотношение искажается при интенсивностях раздражителей, близких к пороговым.

Из ранних психофизических исследований известно, что с ростом силы раздражителя ощущения изменяются гораздо медленнее. Фехнер сформулировал закон, согласно которому между интенсивностью раздражителя ( $J$ ) и интенсивностью ощущения существует следующая связь:

$$E = K \lg J + C, \quad (2.2)$$

К и С - постоянные величины. Эту зависимость принято называть основным психофизическим законом. Эксперименты показывают, что закон этот далеко не универсален и не всегда соблюдается. Так в условиях действия постоянного раздражителя измеряется чувствительность анализатора и это искажает основной психофизический закон. Чтобы учесть это обстоятельство Дж. Стивенс и С. Стивенс [по 34] предложили учитывать в формуле абсолютный порог чувствительности анализатора в рассматриваемых условиях, то есть производить отсчеты именно от этого порога, как от "физиологического" нуля. На основе исследований по изучению ощущений громкости, яркости, вибрации, тепла и холода, они вывели следующую формулу психофизического закона:

$$f = k (\theta - \theta_0)^n \quad (2.3)$$

- где  $f$  - субъективная величина ощущения,  
 $\theta$  - интенсивность раздражителя,  
 $\theta_0$  - абсолютный порог чувствительности в данных условиях,  
 $n$  - показатель степени,  $n < 1$  (так, при световой и темновой адаптации  $n$  соответственно равен 0,45 и 0,33),  
 $K$  - постоянная, зависящая от условий, при которых действует раздражитель.

Последняя формула учитывает влияние на ощущение не только интенсивности раздражителя, но функционального состояния анализатора.

Следует отметить, что когда речь шла о дифференциальной чувствительности имелось в виду, что прирост интенсивности раздражителя происходит за бесконечно малый интервал времени. Практически же интенсивность раздражителя меняется с какой-то конечной скоростью и этот фактор существенно влияет на значение дифференциального порога. Изучая зависимость ощущения от интенсивности раздражителя, меняющегося во времени, В.Валтер [по 34] ввел понятие динамического порога дифференциальной чувствительности:

$$\Delta D_i = \Delta S \left( 1 + \frac{v_0}{v_i - v_0} \right), \quad (2.4)$$

где  $\Delta D_i$  - величина динамического порога в данных условиях;

$\Delta S$  - величина статического порога, которая оценивается за бесконечно малый интервал;

$v_i$  - скорость приращения раздражителя в рассматриваемых условиях;

$v_0$  - пороговая скорость изменения интенсивности.

Из последней формулы следует, что при мгновенном изменении интенсивности ( $v_i = \infty$ ) динамический порог стремится к статическому, а с уменьшением скорости приращения интенсивности раздражителя динамический порог возрастает.

Б.Ф.Ломов [34], проводя аналогию между пороговыми

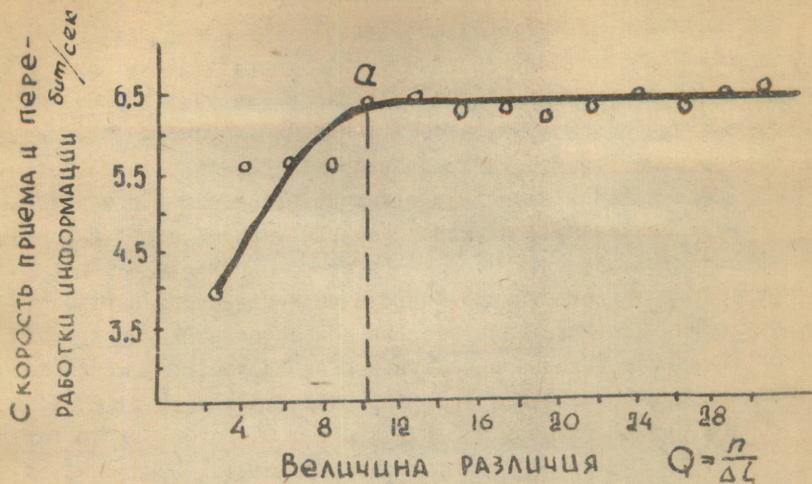
характеристиками анализатора и измерительного прибора, замечает, что абсолютные пороги определяют общую длину "шкалы анализатора", а дифференциальный - величину ее "делений". Абсолютная чувствительность характеризует границы входа чувствующих приборов мозга, а различительная - их "разрешающую способность".

Более поздними исследованиями было установлено, что ощущение зависит не только от интенсивности раздражителя, но и от временных и пространственных характеристик его воздействия. Так появилось понятие временного порога - длительности воздействия, необходимой для возникновения ощущения. Появился пространственный порог - величина, определяемая размерами раздражителя, площадью рецепторов, на которую он воздействует, а также их взаимным расположением.

Перечисленные пороговые характеристики с различных сторон характеризуют предельные возможности анализаторов, определяя тем самым минимально-допустимые интенсивности раздражителей.

В инженерной психологии важно также установить значения раздражителей, при которых достигается оптимальная различимость сигналов. Исходя из этих соображений, было введено понятие порога оптимального различения (Б.Ф.Ломов, М.А.Дмитриева). Таким порогом названа минимальная величина различия в ощущениях, при которой точность и скорость различения становится наибольшей.

Опыты, проведенные М.А.Дмитриевой по различению зрительных сигналов, показали, что с увеличением интервала различия скорость переработки информации возрастает только до некоторого предела. Дальнейшее увеличение различия уже не увеличивает скорость переработки информации (фиг.10). Указанный предел роста скорости и есть величина порога оперативного различения. На фиг. 10 по оси ординат отложено отношение  $Q = \frac{n}{\Delta i}$ , где  $n$  - заданный интервал различия признака,  $\Delta i$  - различие, соответствующее дифференциальному порогу. Точка  $\alpha$  - оперативный порог.



Фиг. 10. Зависимость скорости переработки информации от различия между стимулами (по М.А.Дмитриевой).

При рассмотрении чувствительности анализаторов следует учитывать их способность к самонастройке. Одним из важнейших элементов их настройки — это адаптация, то есть регуляция диапазона чувствительности в соответствии с условиями деятельности анализатора.

Интенсивность раздражителей, воздействующих на рецепторы, может изменяться в огромных пределах (примерно в  $10^{10}$  раз). На выходе же нервных волокон может воспроизводиться только 28 ступеней интенсивности, хотя анализаторы способны различать значительно большее число таких ступеней. Этот результат объясняется широкими возможностями анализаторов изменять свою чувствительность и приспособляться к заданным условиям восприятия. Благодаря адаптации самая крутая часть характеристики чувствительного элемента каждый раз попадает в область действующей интенсивности раздражителя. Процесс этот совершается рефлекторно по принципу обратной связи. Адаптация происходит во времени. Так

зрительная адаптация продолжается десятки минут. Исследованиями П.О.Макарова установлено, что в процессе адаптации изменяется наряду с интенсивностным также временной и пространственный пороги [41]. Благодаря адаптации обеспечивается избирательность в приеме сигналов — анализатор "выбирает" такую "полосу пропускания", которая является оптимальной в данных условиях по отношению к действующим раздражителям. При этом происходит как бы отстройка анализатора от помех.

Настройка анализатора осуществляется как за счет межаанализаторных связей, так и посредством специального мышечного аппарата, имеющегося в анализаторе. Изменяя положение рецептора относительно раздражителя, этот аппарат тем самым изменяет эффективность воздействия раздражителя.

Из проведенного краткого анализа характеристик чувствительности человека вытекают общие требования к выбору и оформлению сигналов, адресованных человеку в системах управления.

#### 4. Факторы, влияющие на время сенсомоторной реакции

Экспериментально доказано, что латентный период простой сенсомоторной реакции зависит главным образом от того, на какой анализатор воздействует сигнал-раздражитель или, иначе говоря, от модальности ощущения, регулирующего ответное движение.

В табл. 2, приведенной Б.Ф.Ломовым [34], систематизированы результаты ряда авторов, полученные при измерении времени реакции на различные раздражители средней интенсивности. В табл. даны наименьшие и наибольшие значения средних величин, полученных разными авторами.

Различие между величинами латентных периодов реакции Е.И.Бойко [4] объясняет следующими физиологическими особенностями восприятия отдельных раздражителей.

Т а б л и ц а 2

Анализатор (качество сигнала-раздражителя)	Латентный период (средняя величина в сек )	
Тактильный (прикосновение)	0,09	- 0,22
Слуховой(звук)	0,12	- 0,18
Зрительный (свет)	0,15	- 0,22
Обонятельный (запах)	0,31	- 0,39
Температурный (тепло-холод)	0,28	- 1,6
Вестибулярный аппарат (вращение испытуемого)		0,4
Болевой	0,13	- 0,89

Во-первых, при раздражении различных рецепторов, условия воздействия раздражителей на периферические нервные аппараты различны. Так, например, медленное проникновение температурного раздражителя через поверхность ткани к рецепторным окончаниям определяет большее время реакции на этот раздражитель. Напротив, звуковые и световые раздражители практически сразу действуют на рецепторные приборы. Отсюда и малое время реакции на звук и свет.

Во-вторых, время реакции на сигналы, поступающие к разным рецепторам, зависит от особенностей преобразования этих сигналов в физиологический нервный процесс. От разных рецепторов центральная нервная система получает не одинаковое количество энергии.

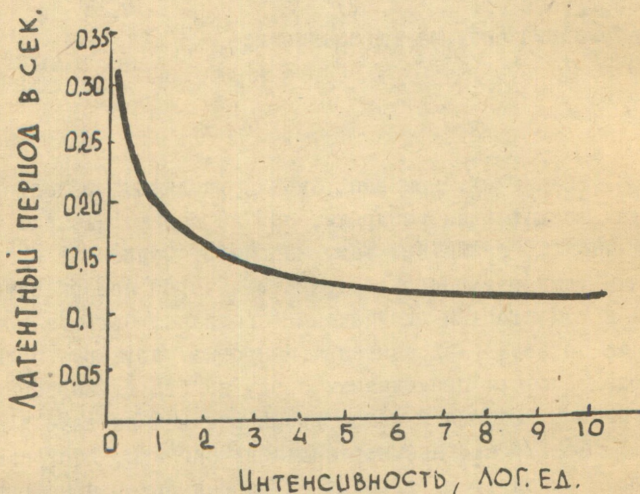
В-третьих, анализаторы по-разному приспособляются к различным по интенсивности и длительности раздражителям.

Б.Ф.Ломов высказывает предположение, что длительность латентного периода зависит от роли анализатора в рефлекторном механизме регуляции.

Для инженерной психологии важен факт, что время

реакции существенно зависит от модальности сигнала и что, подбирая модальность сигнала, можно управлять временем реакции оператора.

Латентный период простой сенсомоторной реакции при воздействии на любой анализатор изменяется в зависимости от интенсивности сигнала-раздражителя. Многочисленными исследованиями доказано, что чем больше интенсивность сигнала, тем короче как латентная, так и моторная составляющая времени реакции (фиг. II).



Фиг. II. Зависимость латентного периода простой сенсомоторной реакции от интенсивности акустического раздражителя (данные Шомеля [по 34]).

Исходя из анализа литературных данных и результатов собственных экспериментов, Е.И.Бойко пришел к выводу, что зависимость времени реакции от интенсивности раздражителя объясняется действием физиологического закона силы, открытого И.П.Павловым. Этот закон гласит, что чем больше энергии поступает в нервную систему от раздражителя, тем быстрее протекают процессы во всех ее звеньях и тем энергичнее конечный рефлекторный эффект. Уровень возбудительного

процесса, протекающего в нервной системе под действием раздражителя, зависит от его физической интенсивности и относительной физиологической "силы", а также от уровня тормозной задержки, обусловленного теми или иными формами коркового торможения.

Имелись попытки (Ле Ни [по 4]) описать "потенциал" возбудимости (E) формулой:

$$E = (e - j),$$

где e - означает процесс возбуждения,

j - различные виды торможения.

Время реакции (ВР) определяется, как функция "потенциала" возбудимости:

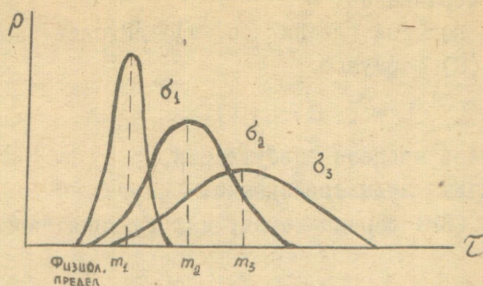
$$ВР = f(e - j). \quad (2.5)$$

Следует отметить, что закон силы отчетливо проявляется лишь при равенстве всех прочих условий. Так в лаборатории Д.А.Ошанина было показано, что фактор значимости сигнала может исказить закон силы. А.Е.Ольшанникова [51] установила, что если слабый раздражитель имеет особую значимость для оператора (например, аварийный сигнал), то время реакции на него может быть короче, чем на более сильный, но менее значимый сигнал. Закон силы могут исказить и другие факторы, такие, например, как тренированность к восприятию сигналов определенной интенсивности или инструкция к избирательному выбору отдельных сигналов.

На время реакции влияют не сами по себе абсолютные характеристики раздражителя (интенсивность, размер), а их отношение к окружающему фону. С увеличением контрастности раздражителя по отношению к фону, время реакции на него сокращается. Время реакции на изменение интенсивности раздражителя тем меньше, чем больше это изменение.

И.Е.Цибулевский [78] исследовал время реакции на зрительные сигналы и пытался аналитически описать эту характеристику. Он получил логарифмический нормальный закон распределения и установил, что между статистическими характеристиками - математическим ожиданием ( $m(\tau)$ ) и

среднеквадратическим отклонением ( $\sigma(\tau)$ ) отдельных испытуемых существует корреляция с коэффициентом  $r_{m\sigma} = 0,58$ .



Фиг. 12. Пояснение к результатам опытов И.Е.Цибулевского о взаимосвязи  $m(\tau)$  и  $\sigma(\tau)$

Полученные результаты автор объяснял следующим образом: время реакции ограничено снизу физиологическим минимумом, который для разных испытуемых примерно одинаков. Значения же  $m(\tau)$  имеет большую вариацию. Поэтому у операторов, давших меньшее значение  $m(\tau)$ , кривая гистограммы должна получиться выше, а следовательно  $\sigma(\tau)$  соответственно меньше (фиг. 12). И.Е.Цибулевский исследовал также изменение времени реакции на второй сигнал, следующий на коротком интервале за первым (через 0,6 сек). Он обнаружил, что время реакции на второй сигнал подвержено тренировке благодаря снятию отрицательной индукции в ходе повторения. Время реакции на второй сигнал И.Е.Цибулевский аппроксимировал экспонентой:

$$\tau_2 = 0,2 + 0,22 e^{-\frac{\Delta t}{0,16}}$$

где  $\tau_2$  - время реакции на второй сигнал,  
 $\Delta t$  - время между сигналами.

Время реакции зависит от функционального состояния анализаторов и по мере их адаптации падает примерно также, как с ростом интенсивности сигнала.

Скорость реагирования оператора может изменяться в

зависимости от условий, в которых предъявляется сигнал. Представляло интерес выявить в какой степени шум и музыка сказываются на времени реакции. Исследования показали, что эти факторы сравнительно мало влияют на время простой сенсорной реакции. В исследованиях по этому вопросу, проведенных в лаборатории кафедры психологии ТГУ (Х.В.Кайдро [26] ), было доказано, что под действием шума или музыки время реакции меняется только в том случае, когда реагирование на сигнал сочетается с другим видом деятельности.

В той же лаборатории ТГУ проводились измерения времени реакции с учетом различных факторов, влияющих на результаты этих измерений (У.М.Сийман [66] ). В одном эксперименте учитывались следующие факторы: модальность сигнала, его интенсивность, освещенность кабинета испытуемого, интервал между предупредительным и основным сигналом, интервал между основными сигналами, степень научения и утомления испытуемого. В другом эксперименте, кроме перечисленных факторов, учитывались структура опыта и индивидуальные различия испытуемых.

Дисперсионный анализ результатов проведенного исследования показал, что отдельные факторы оказывают самостоятельное влияние на время реакции (такие как модальность и интенсивность сигналов, интервалы между сигналами). Некоторые факторы — научение, утомление отражаются на времени реакции только в сочетании с другими факторами (например, с интенсивностью сигнала и освещением). Можно предполагать, что совместное воздействие нескольких факторов определяется не простым сложением, а более сложными процессами взаимодействия.

Проведенные эксперименты показали, что исследования скорости реагирования следует проводить с учетом факторов, оказывающих в рассматриваемых условиях существенное влияние на измеряемую характеристику.

Зависимость времени реакции от качества сигнала-раздражителя, его интенсивности и других особенностей, обнаруженная при изучении простых сенсорных реакций, про-

является и в других их разновидностях. Так Н.В.Зимкиным [ по 34] было установлено, что время реакции человека на движущийся объект будет тем меньше, чем дольше он ранее следил за движением этого объекта. Он показал также, что время реакции выбора падает с уменьшением числа сигналов, из которых производится выбор.

Время реакции зависит также от того, каким органом производится движение. Латентный период реакции, выполняемой руками, меньше чем ногами, а ведущей рукой меньше чем неведущей.

Проводились исследования влияния тренировок на время латентного периода сенсомоторной реакции. Они показали, что с тренировкой этот период сокращается и стабилизируется. Опыты Б.Ф.Ломова [34] по этому вопросу свидетельствуют о том, что в первый период тренировок испытуемый пробует различные приемы выполнения реакции и выбирает оптимальный для себя (здесь большая изменчивость данных). После этого же начинается собственно тренировка, в которой упрочняются условно-рефлекторные связи и время реакции постепенно стабилизируется. И.В.Терашкина [72] считает, что падение и стабилизация времени реакции в ходе тренировок происходит за счет перестройки механизма ее регуляции, прежде всего с изменением речемыслительных и сенсорных процессов.

В лаборатории инженерной психологии ЛГУ исследовалось изменение времени реакции на движущийся объект с тренировкой. Г.В.Суходольский [69] установил, что тренировки почти не изменяют полное время реакции  $T$ , а точность слежения значительно увеличивают. Стабильность полного времени реакции при тренировках он объясняет перераспределением продолжительности его составляющих — латентного ( $T_{\text{л}}$ ) и моторного ( $T_{\text{м}}$ ) компонента. При тренировках  $T_{\text{л}}$  линейно уменьшается, а  $T_{\text{м}}$ , наоборот, увеличивается. Сумма же их в условиях одной и той же скорости слежения ( $V_0$ ) остается неизменной. Уменьшение  $T_{\text{л}}$  обусловлено выработкой рефлекса на время, оно позволяет уве-

личить  $T_M$ , а это "выгодно" тем, что появляется возможность легко маневрировать ускорениями руки при слежении.  $T_D$ , в зависимости от скорости движущегося объекта, падает по закону силы. Их взаимосвязь Г.В.Суходольский описывает следующим уравнением:

$$T_A = \frac{0,4}{\sqrt{V_0}},$$

где  $0,1 \text{ мм/сек} \leq V_0 \leq 200 \text{ мм/сек}$ .

Компонент  $T_M$  с увеличением  $V_0$ , наоборот, увеличивается. При отсутствии тренировки увеличение происходит по степенному закону, а при наличии тренировки - по логарифмическому закону. Такой результат объясняется тем, что в ходе тренировки усваивается значение скорости объекта. Это замедляет рост  $T_M$  по сравнению с условиями, в которых тренировка отсутствует.

Зависимость  $T_M$  от скорости цели и от количества тренировок автор аппроксимирует уравнением:

$$T_M = a \lg V_0 + b,$$

для  $2,5 \text{ мм/сек} \leq V_0 \leq 50 \text{ мм/сек}$ ,

где  $a = 0,073 (1 + 0,094 N - 0,00052 N^2)$

$$b = 0,015 (1,6 + 0,15 N - 0,001 N^2),$$

где  $N$  - число тренировочных опытов.

$$1 \leq N \leq 50.$$

В заключение отметим опыты С.Г.Геллерштейна [14], в которых автор показал, что человек может научиться произвольно регулировать время своих реакций, причем с довольно большой точностью - до сотых долей секунды.

Таким образом приходим к заключению, что время реакции оператора обусловлено целым рядом факторов, зависящих как от характеристик раздражителя и особенностей его воздействия, так и от условий деятельности оператора. Путем выбора рациональных сигнальных устройств и органов управления, а также соответствующих способов предъявления

информации и условий ее восприятия, возможно в определенных пределах снижать время ответных реакций оператора. Однако, "в существующих системах управления, - как метко заметил Б.Ф.Домов, - от человека не требуется реагировать со скоростью электромагнитных реле или электронных ламп. Более важно добиться стабилизации временных действий оператора и научить его управлять этим временем."

## 5. Время цикла регулирования и резервное время

Оператор управляет системой и регулирует ее работу в соответствии с установленной программой. Чаще всего эта программа задается во времени. Математическое описание процессов регулирования дается также в функции времени. Нарушение оператором заданных программой временных ограничений расценивается как невыполнение поставленной перед ним задачи, то есть, как отказ звена "человек" и всей системы "человек-машина". Так если оператор контрольного пульта управления вовремя не среагирует на аварийный сигнал, то выйдет из строя вся система.

Время, ограничивающее деятельность оператора в системе управления, зависит от технических характеристик как самого объекта управления, так и его системы регулирования.

Работу замкнутой системы "человек-машина" можно определить временем регулирования - временным промежутком, в течение которого объект приводится из некоторого исходного положения в заданное.

Поясним эту характеристику на конкретном примере. Предположим, что оператор регулирует скорость вращения какого-то объекта. Пусть по независящим от него причинам, скорость объекта отклонилась от заданного значения  $n_0$  до значения  $n_1$  (фиг. 13<sup>а</sup>). Оператор получил сообщение об этом с некоторым опозданием ( $t_0$ ), обусловленным инерционностью контрольного прибора. Для восприятия и перера-

ботки полученной информации оператору требуется время  $t_1$ . На перемещение органов управления, необходимое для устранения возникшего отклонения, затрачивается время  $t_2$ , на срабатывание регулятора -  $t_3$ . Период полного "оборота" сигнала по контуру системы управления, то есть время прохождения осведомительной информации от объекта к оператору и командной - от оператора через регулятор к объекту, называется временем цикла регулирования. Оно определяется суммой задержек сигнала в отдельных звеньях системы "человек-машина":

$$T_0 = t_0 + t_1 + t_2 + t_3, \quad (2.6)$$

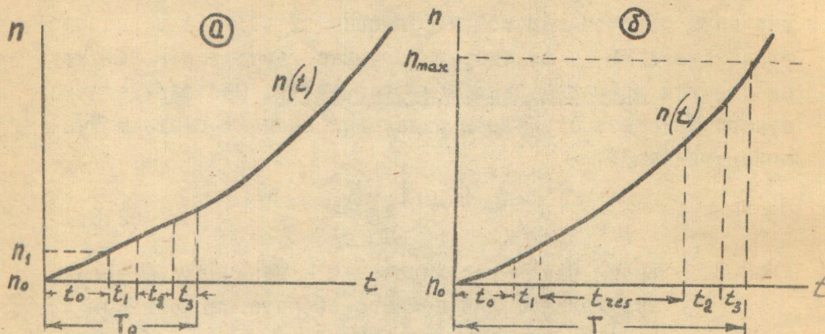
где  $T_0$  - время цикла регулирования - минимальное время, необходимое для полного оборота сигнала по контуру системы управления.

Теперь предположим, что оператор, получив информацию об отклонении от нормы регулируемого параметра (скорости объекта), на нее не реагировал и отклонение продолжало возрастать. Как следует из гипотетической характеристики, представленной на фиг. 13<sup>б</sup>, в момент  $T$  скорость объекта превысит предельно-допустимое значение ( $v_{max}$ ) и произойдет отказ системы. Минимальное время, необходимое оператору для предупреждения такого отказа -  $T_0$ . Система "человек-машина" может выполнять свои функции только при условии:  $T \geq T_0$ . Практически это неравенство всегда соблюдается и оператор, управляя системой, обычно располагает каким-то избыточным, резервным временем ( $t_{рез}$ ):

$$t_{рез} = T - T_0 = T - (t_0 + t_1 + t_2 + t_3). \quad (2.7)$$

Резервным временем системы, находящейся под воздействием данного возмущения, называется избыток времени (над минимально необходимым), которым располагает оператор для предотвращения отклонений ее параметров за допустимые пределы и приведения их в заданное состояние.

Очевидно при различных возмущениях для системы будут характерны разные значения  $t_{рез}$ , ограничивающие деятельность оператора по ее управлению.



Фиг. 13. Характеристики, поясняющие время цикла регулирования (а) и резервное время (б).

Как следует из определения, время цикла регулирования и резервное время обусловлены временными характеристиками отдельных звеньев системы. Мы уже отмечали, что технические звенья по своему быстродействию во многих случаях превосходят человека. Электронные лампы, реле и другие элементы системы автоматического управления обычно срабатывают за сотые и тысячные доли секунды, в то время как для человека требуются секунды, а в лучшем случае их десятые доли. Поэтому время цикла регулирования оказывается обусловленным, главным образом, временем деятельности оператора. От временной характеристики деятельности оператора зависит и резервное время, но в значительно меньшей степени. Если в период  $T_0$  время  $t_1$  имело существенный "удельный вес", то в периоде  $T$ , значительно превосходящем в обычных условиях  $T_0$ , этот "вес" оказывается сравнительно небольшим.

Так, например, если пассажирский тяжелый турбовинтовой самолет под действием возмущающего фактора начнет наклоняться со скоростью  $2^{\circ}/\text{сек}$ , для такой ситуации  $T=19$  сек. Учитывая, что  $T_0=2$  сек и  $t_1=1$  сек, получим:

$$t_{\text{рез}} = 19 - 2 = 17 \text{ сек.}$$

Очевидно в таком случае, величина  $t_1$  будет сравнительно мало отражаться на значении  $t_{\text{рез}}$ .

Однако в аварийных ситуациях  $t_1$  будет уже существенно сказываться на  $t_{\text{рез}}$ . При авариях регулируемые параметры, как правило, быстро отклоняются к предельно-допустимому значению и  $T$  оказывается близким к  $T_0$ , а  $t_{\text{рез}}$  получается очень небольшим. Так если на том же пассажирском самолете произойдет отказ авиадвигателя и его воздушный винт начнет создавать отрицательную тягу, для такой аварийной ситуации  $T=4$  сек,  $T_0=2$  сек, а  $t_{\text{рез}}$  будет равно всего 2 сек.

Нужно отметить, что понятие "резервное время" принято чисто условно и его не следует понимать в буквальном смысле слова. Оно было получено с учетом, что задержка сигнала в звене "человек" определяется только временем, необходимым для восприятия и переработки поступающей информации ( $t_1$ ). Практически, оператор почти никогда не укладывается во время  $t_1$  и для управления системы вынужден использовать ту или иную часть резервного времени. Это обусловлено тем, что он не всегда подготовлен к восприятию информации, так как может быть занят работой с другими приборами, выполнением побочных задач. Поэтому оператор обычно не сразу воспринимает новую информацию, а восприняв, не всегда имеет возможность сразу на нее реагировать. В зависимости от условий деятельности возникают те или иные дополнительные (сверх  $t_1$ ) задержки сигналов в звене "человек". А резервное время как раз определяет ту границу, в пределах которой допустимы эти задержки, без какого-либо ущерба для всей системы. Иначе говоря, оно характеризует временные ограничения деятельности опе-

ратора. И если резервное время оказывается, как в последнем примере, всего 2 сек, это свидетельствует об очень жестком лимите времени, в который должен укладываться оператор в создавшейся аварийной ситуации.

Из всего сказанного вытекает необходимость изучения временных характеристик деятельности человека, чтобы более полно учитывать их при расчетах систем управления.

### 6. Примеры использования характеристик времени реакции для решения практических задач.

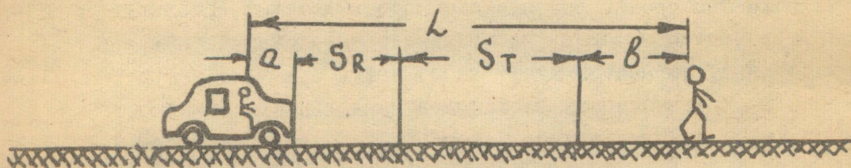
Приведем ряд примеров практического приложения характеристик времени реакции [по 4] .

Д.П.Великанов исследовал связь между видимостью дороги и допустимой скоростью движения автомобиля.

Длину опасной зоны ( $L$ ) он определял:

$$L = S_T + S_R + a + b,$$

- где  $S_T$  - длина тормозного пути автомобиля ;  
 $S_R$  - длина пути, пройденного автомобилем за время реакции водителя ;  
 $a$  - расстояние от передней точки машины до глаз водителя ;  
 $b$  - расстояние от передней точки уже остановившегося автомобиля и предмета на пути (фиг. 14).



Фиг. 14. Пояснение к расчету длины опасной зоны движения автомобиля.

Определив, что время реакции водителя равно примерно 1 сек, и основываясь на длине тормозного пути автомобиля (по данным академика Е.А.Чудакова), Д.П.Великанов рассчитал длину опасной зоны для различных скоростей движения автомобиля. Так при езде по сухой ровной дороге (коэффициент сцепления шин с дорогой 0,6) получается:

- при скорости  $V = 10$  км/час длина опасной зоны  $L = 9$  метров,
- при скорости  $V = 120$  км/час  $- L = 198$  метров.

Исследователи Бернс и Бердик (1961) определяли зависимость времени движения рук космонавта от давления внутри скафандра. Они установили, что время реакции космонавта с изменением давления в скафандре практически не меняется.

На основе исследований Уэда (1963) можно выбрать телеграфный ключ для работы в условиях невесомости. Он показал, что время реакции при работе ключами различной конструкции получается различным. Для работы в условиях невесомости целесообразнее выбирать кнопочные, а не рычажные и роторные ключи.

В.В.Усачев (1961) оценивал влияние радиальных ускорений на двигательные реакции. Создавая ускорения от  $(3+4)g$  до  $(6+7)g$ , он исследовал время реакции на свет. Ему удалось установить, что в условиях малых ускорений время реакции растет незначительно: от 0,26-0,32 сек до 0,28-0,4 сек. При больших же ускорениях это время возрастает до 0,34-0,6 сек.

Приведем еще один пример использования временных характеристик для решения практических задач. Предположим, что возникла необходимость возложить на оператора, управляющего техническим комплексом и действующего в условиях дефицита времени, дополнительные функции, не связанные с управлением системой. Нужно оценить в какой степени такая дополнительная нагрузка оператора отразится на качестве выполнения им основного управления. С подобными задачами приходится часто встречаться на прак-

тике в работе летчика, шофера.

Во многих системах управления можно считать, что возмущения поступают в виде пуассоновского потока с определенной интенсивностью [15] [71].

Вероятность, что за время возникнет возмущение, будет:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2.8)$$

Каждому возмущению соответствует определенное резервное время системы ( $t_{res}$ ). Предположим, экспериментальным путем удалось установить, что на выполнение указанной дополнительной функции оператор затрачивает время  $t_0$ .

Вероятность, что за  $t$  успеет возникнуть возмущение и истечь резервное время  $t_{res}$ , получится:

$$F(t_0 - t_{res}) = 1 - e^{-\lambda(t_0 - t_{res})}. \quad (2.9)$$

Практика показывает, что в заданных условиях работы чаще всего возникают возмущения определенной интенсивности. Вероятность появления больших или меньших возмущений подчинена нормальному закону. Очевидно и вероятность появления различных  $t_{res}$  также будет распределена вокруг среднего значения резервного времени ( $\bar{t}_{res}$ ) по тому же нормальному закону со среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ .

Вероятность проявления  $i$ -го значения резервного времени будет:

$$R(t_{res}) = \int_{t_{resi}}^{t_{resi+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{resi} - \bar{t}_{res})^2}{2\sigma^2}} dt_{res}. \quad (2.10)$$

Так как  $F$  и  $R$  независимы, вероятность отказа системы ( $q_i$ ) из-за ухода оператора из системы управления на время  $t_0$  и поступления в этот период  $i$ -го возмущения получится:

$$q_i = [1 - e^{-\lambda(t_0 - t_{resi})}] \int_{t_{resi}}^{t_{resi+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t_{resi} - \bar{t}_{res})^2}{2\sigma^2}} dt_{res}. \quad (2.11)$$

Средняя вероятность отказа системы ( $Q$ ), обусловленная тем, что оператор отвлечется от управления на время  $t_0$ , находится по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n \left[ 1 - e^{-\lambda(t_0 - t_{res i})} \right] \int_{t_{res i}}^{t_{res i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(t_{res i} - \bar{t}_{res})^2}{2\sigma^2}} dt_{res}, \quad (2.12)$$

где  $n$  - число разрядов, на которые делятся возмущения и  $t_{res}$ .

По последней формуле можно рассчитывать значения вероятности возникновения отказа системы для различных периодов ухода оператора из управления ( $t_0$ ). Приведем пример практического приложения полученной нами формулы (2.12).

Предположим, на летчика требуется возложить какие-то дополнительные обязанности, отвлекающие его от пилотирования самолета на время  $t_0 = 20$  сек. Нужно оценить, насколько опасно для полета такое нововведение.

Несколько ограничив задачу, определим какова вероятность возникновения крена самолета, превышающего допустимое значение из-за того, что летчик отвлечется от управления. Значение предельного крена нам известно. Примем для рассмотрения режим прямолинейного горизонтального полета в условиях небольшой "болтанки". Для решения поставленной задачи с помощью формулы (2.12) требуется выявить интенсивность появления возмущений, отклоняющих самолет относительно продольной оси, выявить величину этих возмущений и соответствующие этим возмущениям значения резервного времени. Эти величины и необходимые для расчета данные определялись нами экспериментально в условиях реального полета. На пассажирском самолете был установлен киноаппарат, который фиксировал показания пилотажных приборов. Синхронно с киноаппаратом работал специально подключенный осциллограф, записывавший отклонения рулей самолета. Эксперименты проводились с летчиками различной летной квалификации. Величина возмущений оценивалась по

угловой скорости наклонения самолета ( $\dot{\gamma}$ ).

На основе полученных данных было определено время цикла регулирования и значения его компонентов; для различных по величине возмущений были подсчитаны значения резервного времени.

Результаты экспериментов представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Угловая скорость наклонения самолета $\dot{\gamma}$ °/сек.	$\leq 0,5$	1,0	1,5	2,0	$> 2,0$
Резервное время $t_{рез}$ сек.	40	24	14	9	6
Частота появления возмущений	0,114	0,43	0,18	0,7	0,08

Было подсчитано  $\bar{t}_{рез} = 20$  сек,  $b = 12,5$ . Средняя интенсивность появления возмущений оказалась  $\lambda = 0,25$ . Подставляя в формулу (2.12) значения  $t_{рез}$  и  $\lambda$ , мы подсчитали величину выражения, заключенного в квадратных скобках для 5 различных вариантов  $t_{рез}$  ( $n=5$ ). С помощью таблицы нормированных функций Лапласа подсчитывались значения интегралов для различных  $t_{рез}$ .

В результате расчетов было получено, что при  $t_0 = 20$  сек средняя вероятность появления в рассматриваемых условиях полета опасного крена самолета  $Q = 0,216$ .

Аналогичным путем было подсчитано, что если летчик отвлечется от управления самолетом на время

$t_0 = 30$  сек, то средняя вероятность превышения допустимого угла крена уже существенно возрастет и будет

$Q = 0,749$ . При  $t_0 = 10$  сек получим  $Q = 0,11$ .

Следует специально оговорить, что описать деятельность оператора в системе управления с помощью математического аппарата возможно только с той или иной степенью

приближения. Дать математическое описание действия столь сложного звена, каким является человек, сейчас возможно только для какого-то узкого круга задач, абстрагируясь от многих разнообразных сторон его деятельности. Поэтому подобные оценки получаются сравнительно грубыми. Но благодаря тому, что они описывают действие звена "человек" такими же характеристиками, какими описываются технические звенья, благодаря своей объективности, математические оценки деятельности оператора в инженерной психологии имеют широкое практическое применение. Причем многие такие оценки получаются на основе временных характеристик деятельности оператора.

### Ш. О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ИНФОРМАЦИИ И СПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА К ЕЕ ВОСПРИ- ЯТИЮ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИЮ

До сих пор речь шла о пороговых характеристиках материальных явлений, которые способны при воздействии на анализаторы вызывать ощущения. Были определены некоторые требования, которым должны отвечать эти явления, выступающие в роли носителя сигналов, адресованных человеку. "Любой материальный процесс выступает в роли сигнала лишь постольку, - пишет Б.Ф.Ломов [34], - поскольку он является носителем информации". Поэтому изучение характеристик "сенсорного входа" оператора нельзя свести только к выявлению его способности ощущать и воспринимать те или иные явления, а нужно еще установить, какое количество информации получает при этом оператор.

Инженерная психология занимается исследованием вопросов об оптимальном количестве сигналов, которые способен воспринять человек, о распределении во времени, числе измерений, информационной насыщенности, оптимальном кодировании этих сигналов и т.д. Чтобы разрешить указанные вопросы необходимо установить возможности человека по восприятию, переработке и хранению информации.

#### I. Количественные характеристики информации

Теория информации стремится выразить количественно физическое содержание переданного сообщения. Впервые такую попытку сделал Купфмюллер [по 23] в 1924 г., который предложил формулу:

$$K=BT,$$

где  $T$  - продолжительность сообщения, преобразованного в сигнал;

$B$  - ширина диапазона частот, используемая для передачи сообщения;

$K$  - постоянная величина.

Данная формула указывает на возможность сокращения продолжительности передачи за счет расширения полосы частот без изменения количества передаваемой информации.

В 1928 г. Хартли [по 23] ввел третий параметр - амплитуду. Благодаря возможности варьировать амплитуду, достигается большая информационная насыщенность сигнала. Информация ( $J$ ), по Хартли, выражается следующим образом:

$$J = 2BT \log_2 s,$$

где  $s$  - число поддающихся различению ступеней амплитуды. Ширину полосы частот Хартли выражает следующим образом:

$$B = \frac{1}{2\tau_0},$$

где  $\tau_0$  - продолжительность одного двоичного шага.

В 1949 г. К.Шеннон [по 6] подошел к количественной оценке информации несколько по-иному. Если Хартли считал выбор сообщения из множества проблемой в основном психологической, то Шеннон счел эту проблему чисто статистической, что и положил в основу теории информации.

"Основная идея теории информации, - пишет К.Шеннон, - состоит в том, что с информацией можно обращаться почти так же, как с такими физическими величинами, как масса и энергия". Следовательно и транспортировка информации может рассматриваться подобно системе транспортировки массы или энергии.

+

+                      +

Информация, в обычном смысле, это сообщение или получение знаний, сведений, фактов, отличных от сведений, фактов уже воплощенных в мысли или знаниях.

В математическом понимании информация трактуется

так [79] . Имеется задача с некоторым числом возможных ответов и мы не знаем о действительном положении дел. С получением информации о задаче, число возможных ответов может уменьшиться (даже свестись к единственному). Информацию определяют как функцию отношения числа возможных ответов до и после получения информации, то есть как функцию отношения апостериорной вероятности события к его априорной вероятности:

$$J = f\left(\frac{P_1}{P_0}\right),$$

где  $J$  - количество информации,

$P_0$  - вероятность события до приема информации,

$P_1$  - вероятность события после ее приема.

Информация это характеристика неопределенности проявления событий. Сущность теории информации можно пояснить, сравнивая ее со статистикой. Как статистика, так и теория информации имеют дело с разнообразием событий или элементов некоторой совокупности. Статистика рассматривает разнообразие как "зло" и пытается выяснить степень общности - что можно вывести несмотря на разнообразие. Теория же информации рассматривает разнообразие, как положительное явление, на основе которого базируется отбор, спецификация. Эта теория стремится выяснить - чего же можно достичь в передаче сообщения благодаря некоторой степени разнообразия.

Одно и то же сообщение может быть передано в различной форме. Например, сигнал бедствия возможно передать словом, жестом, телеграфным сигналом "SOS" и т.д. То есть различные символы могут отражать одно материальное событие.

Таким образом:

- информация не есть нечто "невещественное" - она всегда связана с реальным материальным носителем и может быть представлена в различных формах;

- теория информации не касается процесса мышления, поэтому в нее не входит содержательная оценка информации;

- каждое событие богато многогранными деталями, полное законченное описание его сделать невозможно; поэтому в теории информации в каждом случае рассматривают одну абстрагированную сторону события и ее принадлежность к некоторым классам, множествам.

Следовательно, чтобы количественно выразить какую-либо информацию о состоянии объекта, требуется прежде всего выбрать характеристику объекта, которую она должна отражать; установить, что считать элементарным событием этой характеристики и на фоне какого множества должно рассматриваться это событие.

Количественная оценка информации, по Шеннону, дается на основе энтропии. Энтропия является мерой свободы выбора и определяет не то что передано, а то что могло быть передано, так как она связана с ансамблем исходов некоторого события.

Энтропия соответствует больцманновскому выражению термодинамической энтропии и может выразаться математически с помощью теории вероятности. Предположим, в данной системе состояние  $A_i$  наступает с вероятностью  $p_i$ . Энтропия такого состояния  $H_0(A_i)$  будет:

$$H_0(A_i) = -p_i \log_2 p_i. \quad (3.1.)$$

Предположим далее, что такая неопределенность нас не устраивает и мы запросили более конкретные данные о появлении события  $A_i$ . В ответ на запрос к нам поступило сообщение, которое определяет появление события  $A_i$  с большей вероятностью  $p_i^*$ . Энтропия такого сообщения получится:

$$H_1(A_i) = -p_i^* \log_2 p_i^*. \quad (3.2)$$

Поступившее сообщение будет, очевидно, иметь меньшую неопределенность, поэтому оно в какой-то мере снизит неопределенность, энтропию события.

Изменение энтропии, обусловленное полученным сооб-

нением, и определит количество информации ( $J$ ), содержащаяся в этом сообщении:

$$J = H_0(A_i) - H_1(A_i) = -p_i \log_2 p_i + p_i^* \log_2 p_i^*. \quad (3.3)$$

Таким образом, информация, как и энтропия, является абстрактной величиной, значение которой не зависит от объекта (также как длина, вес, температура она имеет свой физический смысл, независимо от природы объекта, характеризуемого этим параметром).

При выражении энтропии и информации основание логарифма наиболее удобно брать равным 2. В этом случае за единицу измерения информации принимается неопределенность, содержащаяся в опыте, состоящем из двух равновероятных исходов (бинарная альтернатива), которая измеряется в битах.

Рассмотрим пример. Пусть событие А может иметь  $K$  равновероятных исходов; вероятность каждого исхода тогда будет:  $p = \frac{1}{K}$ . В таком случае, энтропия любого из  $K$  исходов получится:

$$H(A) = -\frac{1}{K} \log_2 \frac{1}{K}.$$

При равной вероятности всех исходов энтропия каждого события приобретает максимальное значение. Средняя энтропия ( $H(A)$ ) всех возможных исходов будет:

$$H(A) = H(A_1) + H(A_2) + \dots + H(A_K) = \sum_{i=1}^K \frac{1}{K} \log_2 \frac{1}{K} = -\log_2 \frac{1}{K}. \quad (3.4)$$

Теперь выясним, какую информацию получает человек, узнав исход метания монеты. До метания было 2 равновероятных исхода:  $K=2$ , а  $p = \frac{1}{2}$ . Средняя энтропия системы:

$H_0(A) = -\log_2 \frac{1}{2}$ . После метания монеты получаем конкретный результат: вероятность события  $p^* = 1$ . Энтропия такого опыта становится:

$$H_1(A) = -1 \log_2 1 = 0.$$

Полученная при этом информация оказывается равной:

$$J = H_0(A) - H_1(A) = -\log_2 \frac{1}{2} = 1 \text{ бит.}$$

Таким образом сообщение, устраняющее неопределенность двух равновероятных исходов, несет с собой информацию, равную по количеству 1 биту.

Как же практически оценить информацию, которую оператор получает от контрольного прибора? Покажем это на конкретном примере: оценим информацию об угле крена самолета, которую получает летчик при обзоре авиагоризонта.

Вначале определим энтропию объекта до измерения. Самолет может занимать относительно продольной оси бесконечное число положений в пределах  $360^\circ$ . Однако в реальных условиях полета углы крена ограничены углом ( $\gamma = \pm 30^\circ$ ), то есть находятся в пределах угла  $\Gamma = 60^\circ$ . Примем, что в указанных пределах самолет занимает различные углы крена ( $\gamma$ ) с равной вероятностью  $p_i$ . В качестве единицы дискретности угла крена ( $\gamma$ ) примем  $\varepsilon$ . Вероятность появления каждого из дискретных состояний будет:  $p_i = \frac{\varepsilon}{\Gamma}$ . При таком предположении, согласно (3.4), средняя энтропия системы до измерения определится:

$$H_0(\gamma) = -\log_2 p_i = -\log_2 \frac{\varepsilon}{\Gamma}.$$

Из экспериментов, проведенных с летчиками по отсчету по авиагоризонту углов крена [24], была найдена разрешающая способность определения углов крена по этому прибору ( $\delta$ ). В пределах участка  $\delta$  шкалы авиагоризонта заключено  $K$  дискретных значений состояния самолета по крену. Если считать, что эти значения появляются с равной вероятностью, то вероятность каждого из них будет:  $p_k = \frac{\varepsilon}{\delta}$ . Таким образом, после выполнения отсчета средняя энтропия системы станет:

$$H_1(\gamma) = -\log_2 p_k = -\log_2 \frac{\varepsilon}{\delta}.$$

Изменение энтропии в результате отсчета по прибору, то есть полученная при этом информация, определится по формуле:

$$J = H_0(\gamma) - H_1(\gamma) = -\log_2 \frac{\varepsilon}{\Gamma} + \log_2 \frac{\varepsilon}{\delta} = -\log_2 \frac{\delta}{\Gamma}. \quad (3.5)$$

Так если в результате исследований было установлено что  $\delta = 2,6^{\circ}$  при  $\Gamma = 60^{\circ}$ , то количество информации, которое получит летчик при отсчете углов крена по авиагоризонту будет:

$$J = -\log_2 \frac{\delta}{\Gamma} = -\log_2 \frac{2,6}{60} = 4,52 \text{ бит.}$$

Если бы  $\delta$  была меньше, очевидно была бы получена большая информация.

Теперь остановимся на количественной оценке информации, передаваемой в условиях помех.

Пусть в линии связи используются  $m$  различных сигналов:  $A_1, A_2, \dots, A_m$ . Предположим, что сигнал  $A_1$  передается с вероятностью  $p(A_1)$ , сигнал  $A_2$  - с вероятностью  $p(A_2)$ , ..., сигнал  $A_m$  - с вероятностью  $p(A_m)$ . В таком случае средняя энтропия события ( $\beta$ ) передачи сигналов  $H(\beta)$  определится:

$$H(\beta) = -p(A_1) \log_2 p(A_1) - p(A_2) \log_2 p(A_2) - \dots - p(A_m) \log_2 p(A_m). \quad (3.6)$$

Если в линии связи имеются помехи, то при передаче одного сигнала возможны случаи ошибочного приема другого сигнала. Так при передаче в условиях помех сигнала  $A_1$  на приемном конце возможно получение с вероятностью  $p_{A_1}(A_1)$  правильного сигнала  $A_1$ , с вероятностью  $p_{A_1}(A_2)$  возможно получение сигнала  $A_2$ , ..., с вероятностью  $p_{A_1}(A_m)$  - получение сигнала  $A_m$ . Аналогично при передаче любого другого сигнала, с определенной вероятностью также могут быть приняты различные сигналы. В общем случае, при передаче сигнала  $A_i$ , с вероятностью  $p_{A_i}(A_1)$  может быть принят  $A_1$ , с вероятностью  $p_{A_i}(A_2)$  - сигнал  $A_2$  и т.д.

Очевидно; неопределенность события приема сигнала ( $\alpha$ ) будет зависеть от события передачи сигнала ( $\beta$ ). В таком случае средняя энтропия сложного опыта ( $H_{\alpha}(\beta)$ ) определится:

$$H_{\alpha}(\beta) = p(A_1) H_{A_1}(\beta) + p(A_2) H_{A_2}(\beta) + \dots + p(A_m) H_{A_m}(\beta), \quad (3.7)$$

где  $H_{A_i}(\beta) = -p_{A_i}(A_1) \log_2 p_{A_i}(A_1) - p_{A_i}(A_2) \log_2 p_{A_i}(A_2) - \dots - p_{A_i}(A_m) \log_2 p_{A_i}(A_m)$ ,

$$H_{A_2}(\beta) = -p_{A_2}(A_1) \log_2 p_{A_2}(A_1) - p_{A_2}(A_2) \log_2 p_{A_2}(A_2) \dots - p_{A_2}(A_m) \log_2 p_{A_2}(A_m), \dots$$

$H_{\alpha}(\beta)$  - оставшаяся неопределенность, после получения сообщений.

Средняя информация  $J(\alpha, \beta)$ , полученная в событии приема ( $\alpha$ ) о событии передачи ( $\beta$ ), определяется разностью энтропий:

$$J(\alpha, \beta) = H(\beta) - H_{\alpha}(\beta) = -\sum_{i=1}^k p(A_i) \log_2 p(A_i) + \sum_{i=1}^k p(A_i) H_{A_i}(\beta). \quad (3.8)$$

Или в развернутом виде:

$$J(\alpha, \beta) = -p(A_1) \log_2 p(A_1) - p(A_2) \log_2 p(A_2) \dots - p(A_m) \log_2 p(A_m) + \\ + p(A_1) H_{A_1}(\beta) + p(A_2) H_{A_2}(\beta) + \dots + p(A_m) H_{A_m}(\beta).$$

Очевидно, если бы в линии связи не было помех, то после опыта  $\beta$  неопределенности вовсе не оставалось:

$$H_{\alpha}(\beta) = 0, \quad \text{тогда}$$

$$J(\alpha, \beta) = H(\beta).$$

Напротив, если бы в результате приема сообщения энтропия события оставалась прежней  $H(\beta) = H_{\alpha}(\beta)$ , тогда  $J(\alpha, \beta) = 0$ . Это означало бы, что опыты  $\alpha$  не зависят от опытов  $\beta$ , иначе говоря, между переданным и полученным сообщением нет никакой связи. В таком случае говорят, что переданная информация полностью "забывается" помехами.

Одним из важнейших вопросов, решаемых теорией информации, является выбор оптимального способа кодирования.

Кодирование по существу означает сравнение символов одного алфавита с символами другого алфавита, причем код представляет собой комплекс правил такого сравнения. Правильность выбора кода определяет экономичность всей передачи. При выборе кода стараются найти такой код, который имеет наивысшую энтропию на символ. Для передачи сообщений посредством этого кода потребуется наименьшее

число символов и минимальное время на их передачу. Подобный код обеспечивает наиболее экономное использование канала связи в течение продолжительности передачи данного сообщения.

Скорость передачи информации ограничена пропускной способностью канала связи. Она определяется количеством информации, переданной за тот или иной промежуток времени:

$$R = \frac{J(d, \beta)}{t} = \frac{H(\beta) - H_d(\beta)}{t}, \quad (3.9)$$

где  $R$  - скорость передачи информации  $J(d, \beta)$  ;  
 $t$  - время ее передачи.

Скорость передачи информации обусловлена свойствами канала связи. Та максимальная скорость, с которой канал может передавать информацию называется его пропускной способностью. Она измеряется в битах в секунду. Чем больше пропускная способность канала связи, тем большую информацию можно по нему передать за единицу времени.

За последние годы проводилось много исследований по оценке пропускной способности информации у человека. Полученные результаты оказались весьма разноречивыми [по 34]. Так Хик и Дж. С. Миллер определили, что эта величина равна примерно 5-6 бит/сек. Другие авторы, исследовавшие скорость передачи информации при игре на фортепиано или громком чтении, определяли пропускную способность информации величиной 25-35 бит/сек. Советские ученые В.Д. Глезер и И.И. Цуккерман установили, что пропускная способность информации только зрительной системы равна 50-70 бит/сек.

Покажем смысл ограничения пропускной способности канала связи на простых примерах. Предположим, требуется послать телеграмму, но пропускная способность нашей передачи ограничена деньгами. Поэтому мы вынуждены подбирать такие слова (так кодировать информацию), чтобы изложить суть короче. Пропускная способность может ограничиваться и особенностями приемника сообщения. Так при разговоре с ребенком, мы искусственно ограничиваем пропускную способность канала, применяя слова, доступные по-

ниманию ребенка.

Последняя формула (3.9) показывает, что скорость передачи определяется разностью безусловной и условной энтропии, отнесенной к единице времени. То есть скорость передачи зависит от  $H_q(\beta)$ , характеристики, учитывающей влияние помех. Чем выше их уровень, тем больше остаточная энтропия сообщения  $H_q(\beta)$ , тем меньше пропускная способность канала связи.

Для защиты от помех приходится использовать замедленную передачу сообщений или их повторение. Иногда применяют самокорректирующиеся или контрольные коды. В таких кодах к каждой группе символов передаваемого сообщения добавляют дополнительный контрольный символ, который сам по себе не несет информацию, но позволяет обнаруживать ошибки в сообщении. Так при передаче телеграфных сообщений азбукой Морзе добавляют "знак раздела" — символ, указывающий, что закончена передача группы сигналов. Очевидно, замедление и повторение передачи, а также использование более сложных кодов влечет за собой задержку во времени и снижение скорости передачи. Однако эти меры повышают надежность работы канала связи.

Зависимость меры пропускной способности канала от помех выражена в теореме Шеннона следующим образом:

$$C = W \log_2 \frac{P + N}{N}, \quad (3,10)$$

где  $W$  — ширина полосы частот;

$P$  — средняя мощность сигнала;

$N$  — средняя мощность помех.

При передаче сообщения по каналу связи важно знать насколько сигнал превышает шум. Шум определяется частотой появления случайных помех при передаче сигнала (а возможно при его возникновении или фиксации). При действии помех стираются мелкие различия между сигналами и последние становятся неразличимыми. Уровень помех обуславливает границу различимости отдельных сигналов. Поэтому соотношение помех и сигналов определяет скорость, с

которой возможно передавать сигнал, обеспечивая при этом заданную надежность канала передачи.

Вопрос эффективного кодирования информации, с сохранением требуемой надежности канала связи, тесно переплетается с проблемой избыточности информации.

Мы уже отмечали, что наиболее экономичный код получается при максимальной энтропии ( $H_{max}$ ), то есть при равенстве вероятности всех символов алфавита.

Относительная энтропия ( $h$ ) выражается:

$$h = \frac{H}{H_{max}}, \quad (3.11)$$

где  $H$  - энтропия данного кода.

Избыточность кода ( $S$ ) определяется зависимостью:

$$S = \frac{H_{max} - H}{H_{max}} = 1 - h. \quad (3.12)$$

При передаче сообщений обычно используют код, имеющий некоторую избыточность. Этот факт также способствует более надежной работе канала связи. Так благодаря избыточности в разговорном и письменном языке на конце канала связи может быть безболезненно воспринята потеря буквы или даже слова. Избыточность языка обусловлена необходимостью при создании текста выбирать буквы не произвольно, а согласно определенным грамматическим правилам, снижающим энтропию кода, но повышающим его избыточность. Только 1/3 - 1/4 часть букв можно выбирать произвольно. Таким образом, действие помех препятствует выбору оптимального кода и концентрации информации.

## 2. Об использовании теории информации для исследования психических процессов

Шенноновские оценки информации разработаны применительно к вопросам передачи информации по линии связи. Сравнительная простота получения и объективность таких оценок делают их весьма заманчивыми для использования

при оценке восприятия и переработки информации человеком. Такое стремление обусловлено как практическими потребностями в подобных количественных оценках, так и отсутствием каких-либо иных способов оценивать количественно возможности человека по восприятию и переработке информации.

Однако сразу возникает вопрос о правомерности использования методов теории информации для психологических исследований.

Последние работы физиологов [4] указывают, что в нервной деятельности человека по восприятию, узнаванию и запоминанию одним из компонентов является аппарат статистической обработки поступающих сигналов — "счетный механизм", который действует во времени и использует принципы статистики. Этот аппарат усиливает различие между возбуждениями, вызванными внешними сигналами и собственными шумами нервной системы. Такая статистическая обработка обеспечивает наиболее экономные и надежные способы восприятия информации. В психологическом процессе восприятия есть к тому же элемент выбора из определенного ряда альтернатив и "взвешивания" вероятности каждого события. Указанные факторы свидетельствуют о возможности применения теории информации для исследования психических процессов.

Однако имеются довольно веские причины, затрудняющие подобный подход к решению вопроса. Количество информации определяется степенью неопределенности события и зависит от вероятности его появления, следовательно и от общего числа возможных событий (то есть от длины алфавита). И здесь сразу возникают трудно разрешимые задачи: что считать элементарным событием и на фоне какого алфавита следует его рассматривать?

Широта и гибкость возможностей человеческого восприятия позволяет рассматривать одно и то же событие во множестве взаимосвязанных аспектов, в каждом аспекте выявлять большое количество различий и тонкостей. К тому же субъективные оценки о вероятности событий могут быть отличными от действительных вероятностей. Поэтому примене-

ние теории информации для исследования деятельности человека оказалось результативным пока при изучении лишь очень ограниченного круга явлений — в основном дизъюнктивных реакций и актов идентификации<sup>х)</sup>.

Для подсчета количества информации, получаемой человеком, за основу алфавита удобно принимать число градаций отдельных признаков предмета, которые человек способен идентифицировать. Так мы подсчитывали количество информации, получаемой летчиком со шкалы авиагоризонта.

Чтобы оценить общую информацию, поступающую при восприятии какого-либо объекта, нельзя суммировать информации, передаваемые каждым признаком, так как образ предмета не является простой суммой ощущений, возникающих от отдельных его признаков. Такой подход в какой-то мере еще допустим для количественного анализа актов различения, но никак не для восприятия.

В последних психологических исследованиях предпринимаются попытки подсчета информации, получаемой человеком при восприятии изображений (методом "ячеек" или "развертки"). Однако такие попытки еще нельзя признать достаточно успешными. Существующие методы теории информации пока не позволяют оценивать информацию даже для такого, казалось бы простого случая, как восприятие предмета.

И все же теория информации находит большое приложение в инженерно-психологических исследованиях. Она позволяет раскрывать сущность отдельных психических процессов, делать ряд заключений, имеющих существенное практическое значение. Покажем это на некоторых примерах.

Теория информации обычно используется для изучения тех процессов, которые строятся по принципу выбора одного символа из множества других, прочно усвоенных символов, то есть идентификации символов. Каковы же возможности человека по решению этой задачи?

Экспериментально установлено, что наибольшей способностью по идентификации символов обладает зрение, затем

<sup>х)</sup> Идентификация от лат. *identifico* — отождествляю.

следует слух, кожно-механический анализатор и вкус. Дж. А.Миллер [42] установил, что при идентификации одномерных символов человек способен передавать информацию в пределах 1,6-3,9 бит. Исходя из этих опытов, он сформулировал свое известное положение, определив предельное количество точно идентифицируемых стимулов (альтернатив) числом  $7 \pm 2$ . Вполне очевидно, способность человека идентифицировать признаки обусловлена дифференциальной чувствительностью к этим признакам. То есть существует тесная связь между характеристиками дифференциальной чувствительности и количеством информации. Следовательно, есть какая-то связь и между процессами различения и опознавания.

Ограничив количество идентифицируемых стимулов числом  $7 \pm 2$ , Дж. А.Миллер задает при этом вопрос: как же тогда мы узнаем знакомое лицо из тысячи и десятков тысяч людей? И сам на него отвечает: это возможно потому, что в реальных условиях приходится иметь дело со стимулами, число измерений которых значительно больше одного. Так в опытах Клеммера и Фрика по определению положения точки в двухмерном пространстве, испытуемые уже идентифицировали 24 положения [по 42]. При этом передавалась информация 4,4 бит. То есть включение второго измерения сразу увеличило количество информации. Решая подобную задачу в одномерном пространстве, испытуемые передавали информацию 3,25 бит. Следовательно, появление второго измерения пространства не привело к удвоению количества информации. Было установлено (Поллак, Клеммер) что с ростом числа измерений передаваемая информация увеличивается примерно пропорционально логарифму их числа [по 34]. Таким образом, общее количество информации, передаваемое многомерным стимулом, всегда меньше суммы тех количеств, которые передаются каждым из его измерений.

В системе управления оператору часто приходится решать задачу идентификации стимулов, пользуясь субъективными мерами, которые сформировались у него в процессе опыта. Экспериментально установлено, что лучше всего распознаются

стимулы, расположенные в начале и в конце ряда. Если в середине ряда включить дополнительные точки, число распознаваемых стимулов возрастет, так как каждый участок станет как бы самостоятельным рядом. Таким путем можно дробить этот ряд на все большее число частей, увеличивая количество опознаваемых стимулов и приближая его к числу различимых стимулов. Таким образом возможно увеличивать информацию, передаваемую одним и тем же стимулом.

Все эти соображения представляют интерес для инженерной психологии прежде всего в связи с задачей определения допустимой длины алфавита сигналов, адресованных человеку, а следовательно их насыщения информацией. На основе этих данных Б.Ф. Ломов [34] [36] сформулировал ряд общих положений, которые следует учитывать при разработке средств и способов индикации.

Возможности разных анализаторов человека по приему информации различны, поэтому и допустимая длина алфавита должна определяться в зависимости от модальности сигнала.

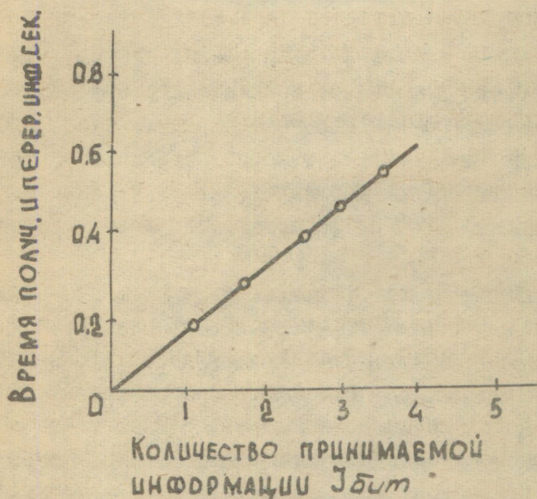
2. Величина максимальной информации, которую может передавать сигнал, зависит от числа его измерений, различаемых человеком. Следовательно, чем большей информацией насыщен сигнал, тем большим числом измерений он должен обладать. Иначе говоря, увеличивая насыщение сигнала информацией, мы должны увеличивать и число его опознавательных признаков, если хотим, чтобы информация была принята человеком.

3. Длина алфавита символов, адресуемых человеку, может быть увеличена путем включения в их ряд дополнительных точек. То есть, если человек должен оперировать со значительной по объему информацией, следует использовать объективные шкалы с разного рода отметками, системой стандартных сигналов, их группировкой и т.п.

### 3. Зависимость времени реакции от количества информации

Впервые исследованием этого вопроса занимался В.Хик

(1952). Он обратил внимание на данные о времени реакции, полученные Меркалем еще в 1885 г. в опытах с различным числом дифференцируемых раздражителей. Хик заметил логарифмическую зависимость времени реакции от степени сложности выбора и, соотнеся данные Меркеля с формулой энтропии для случая равновероятных возможностей выбора, обнаружил существование линейной зависимости между количеством воспринятой информации (в битах) и временем реакции на нее (фиг. 15).



Фиг. 15. Зависимость времени получения и переработки информации человеком от ее количества, установленная Хиком.

Тогда Хик привлек к анализу этих данных формулу Шеннона, измеряющую количество информации, воспринятой в условиях помех (3.8). Учитывая число правильных и ошибочных ответов в опытах Меркеля, он подсчитал среднюю информацию, воспринимаемую человеком. И здесь между количеством принятой информации и длительностью латентного периода времени реакции получилась линейная зависимость. Эти результа-

ты привели Хика к гипотезе, согласно которой скорость усвоения и передачи информации в анализируемых опытах с реакциями является постоянной величиной.

На основе данных опытов Меркеля, Хик нашел, что между латентным периодом времени реакции и числом дифференцируемых раздражителей существует следующая связь:

$$BP = 0,626 \lg(n+1),$$

где BP — время реакции в сек,

$n$  — число предъявляемых стимулов.

К числу стимулов Хик прибавил единицу для устранения противоречия в формуле, возникающего при одном стимуле, когда время реакции получается равным нулю. Это он аргументировал тем, что  $n$  измеряет только неопределенность того, какой сигнал последует, но не учитывает возможности пропуска сигнала. Недостающий стимул он учел добавлением к  $n$  единицы.

Достоверность приведенной формулы Хик подтвердил в двух сериях опытов по измерению времени реакции на разное число световых сигналов. В первой серии опытов была установка на точность, во второй — на скорость. Во второй серии опытов повысилась скорость, однако из-за ошибок упало количество воспринимаемой информации. Скорость же передачи оказалась неизменной. Это еще раз подтвердило высказанную гипотезу.

Гипотезу Хика экспериментально проверял Р.Хаймен [по 38]. Он измерял время реакции на сообщения, количество информации которых задавалось тремя различными способами:

- изменением числа равновероятных стимулов,
- изменением вероятности их появления,
- изменением условной вероятности их предъявления.

Исходя из того, что в технической линии передачи количество информации отдельного сообщения растет с числом возможных сообщений, Хаймен провел следующую аналогию. Серию раздражителей он рассматривал как источник информа-

ции, каждый отдельный раздражитель как сообщение, пространство между раздражителем и испытуемым, а также часть воспринимающих аппаратов органов чувств, он рассматривал как канал связи. Сам испытуемый при этом являлся приемником или дешифратором, преобразующим принятые сообщения в двигательные импульсы реакции. Исходя из такой аналогии, Хаймен высказал предположение о том, что все три способа изменения количества информации будут эквивалентны по их действию на время реакции.

Опыты подтвердили предположение Хаймена и гипотезу Хика. Во всех сериях зависимость между латентным периодом дизъюнктивной реакции и информационным содержанием стимула также получилась линейной:

$$BP = a + bJ, \quad (3.13)$$

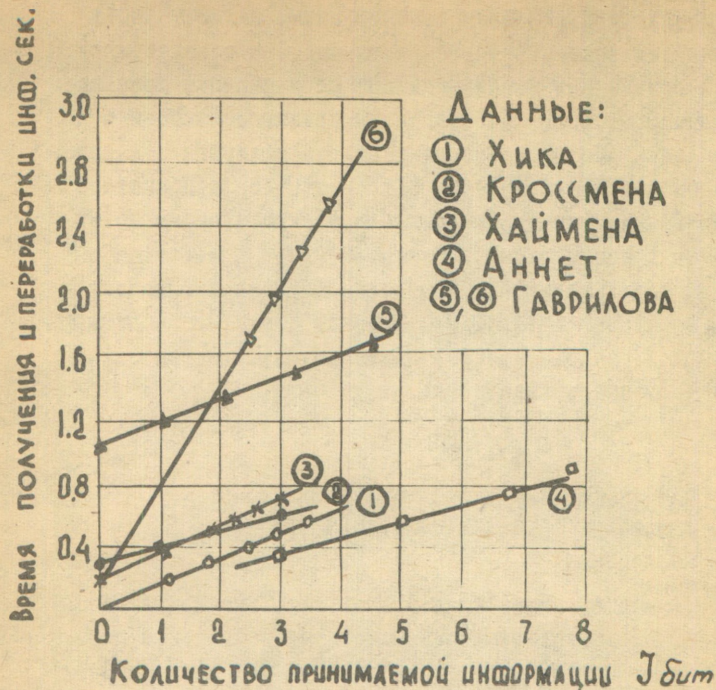
где  $BP$  - время реакции,

$J$  - средняя информация на стимул,

$a, b$  - постоянные.

При проверке закона Хика проводились эксперименты по определению  $BP$  на сигналы, меняющиеся по нескольким параметрам. В этих опытах получилось увеличенное время переработки информации, но линейный закон между количеством воспринятой информации и временем реакции на нее сохранился. В опытах Клеммера [по 38], который вариировал периодичность предъявления информации, также получилась линейная зависимость  $BP (J)$ . Проводились исследования времени реакции людей различного возраста [по 4]. Их характеристики также оказались линейными, причем в зависимости от возраста менялся только угол наклона характеристик, то есть скорость восприятия информации. Так, для людей 60-70 лет она получилась 3,3 бит в сек, а для среднего и молодого возраста - 5,6 бит в сек.

На фиг. 16 представлен сводный график данных о зависимостях времени реакции от количества информации, полученных разными авторами (по В.И.Николаеву).



Фиг. 16. Сводный график характеристик ВР ( $J$ ), полученных разными авторами (по В.И.Николаеву).

Теперь остановимся на том, как психологи объясняют этот строгий математический результат.

Хик считал, что восприятие одного из  $m$  сигналов есть акт идентификации — соотнесения его с некоторым образом. Человек делает это путем поисковых проб. В результате каждой такой пробы он снижает энтропию задачи и извлекает какую-то информацию, затрачивая на это определенное время. Так как такие пробы однородные и занимают одинаковое время, то общее затраченное на них время должно быть пропорционально извлеченной из них информации.

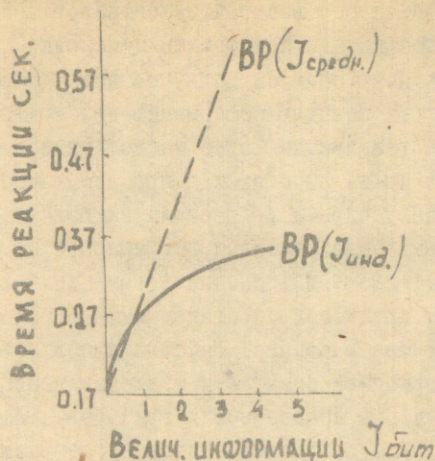
А.Н.Леонтьев и Е.П.Кринчик [38] объясняют закон Хика в несколько ином свете. Вероятность появления стимула они

рассматривают как особый психологический агент, определяющий скорость реакции. Вероятность сигнала — это психологическая неожиданность его появления, которая играет существенную роль в процессе восприятия сигналов в ситуации, моделирующей процесс передачи информации человеку. Чем меньше вероятность появления сигнала, то есть неопределенность его выбора, тем большую информацию несет этот сигнал. Среднее время реакции на более часто повторяющийся сигнал уменьшается из-за выработки в процессе эксперимента привычки к сигналу. Время же реакции на редкие сигналы возрастает, так как растет элемент неожиданности.

Е.И.Бойко [4] ищет объяснение закона Хика в механизме физиологических процессов, протекающих в нервной системе. Он пишет: "Наличие высокого коэффициента линейной корреляции между информацией стимула и временем реакции говорит лишь о том, что в основе обеих этих мер лежат какие-то общие причинные отношения, которые по всем данным могут быть вскрыты только через изучение мозговых механизмов процесса усвоения центральной переработки и передачи информации". Опыты Хика еще раз подтверждают, что в основе изменения времени реакции под влиянием изменения информации стимулов лежат механизмы системности в работе коры больших полушарий.

Во всех рассмотренных опытах речь шла о времени реакции на среднюю информацию, приходящуюся на стимул. С точки зрения психологического анализа процессов приема и переработки информации представляет интерес и выявление времени реакции на индивидуальную информацию, то есть на информацию, полученную в данном конкретном опыте. Это сравнение провели А.Н.Леонтьев и Е.П.Кринчик [38]. Они показали, что время реакции на индивидуальную информацию с ее ростом изменяется по несколько иному закону, чем время реакции на среднюю информацию (фиг. 17). Коррелятами этих характеристик являются как степень неожиданности сигнала (которая зависит от индивидуальной информации), так и степень сложности выбора (зависящая от средней информации).

Данные опыты показывают, что переработка информации человеком это не пассивное отражение статистической структуры сигнала, а активная деятельность поиска эффективного решения.



Фиг. 17. Зависимость времени реакции от индивидуальной ( $J_{инд.}$ ) и средней ( $J_{средн.}$ ) информации, (по А.Н.Леонтьеву и Е.П.Кринчик)

В дальнейших исследованиях зависимости  $VR(J)$  было замечено, что количество переданной информации не является единственным детерминантом поведения человека в ситуации передачи информации [по 38].

Кроссман и Леонард установили, что степень трудности зрительного различения сигналов существенно сказывается на времени реакции. Следовательно в формуле, характеризующей процесс передачи информации человеку, нужно было бы как-то учесть психологические условия восприятия информации.

Другие исследователи (Маубрей, Роада) показали, что путем сложных длительных тренировок можно добиться такого состояния, когда время реакции не будет зависеть от количества информации.

Кроссман и Оллуизи доказали, что с улучшением подбора и совместимости "сигнала" и "ответа" (то есть стимула и реакции) можно существенно снизить время дизъюнктивной реакции и добиться того, что с ростом количества информации время реакции почти не будет расти. Леонарду удалось так хорошо закодировать стимулы, что была достигнута независимость времени реакции от передаваемой информации.

Результаты всех этих опытов Леонард не рассматривал как опровержение закономерности Хика и нашел для них следующее объяснение. Поведение человека в ситуации выбора обусловлено двумя источниками неопределенности:

- неопределенностью стимулов, связанной с вероятностью их появления (их энтропией);
- неопределенностью относительно природы стимулов и ответов, соотношения между ними.

Второй вид неопределенности Леонард называл "неопределенностью кодирования". В это понятие он включал такие характеристики, как совместность стимулов и реакции, различимость стимулов, тренированность и жизненный опыт операторов. Чем больше "неопределенность кодирования", тем больше эффект первой категории неопределенности, тем строже выполняется основная линейная зависимость.

На практике же, чем совершеннее модель, тем дальше она от классических соотношений теории информации. Однако это обстоятельство ни в коей мере не умаляет значения теории информации в инженерно-психологических исследованиях. Теория информации — один из немногих инструментов, позволяющих давать количественные оценки психических процессов. И если ее нельзя применить для анализа всего сложного процесса, то для анализа отдельных его элементов она часто бывает вполне пригодна.

#### 4. Психология памяти и теории информации

Деятельность памяти, как и всякая психологическая деятельность, характеризуется определенным предметным содержанием: целями, мотивами, условиями и способами дости-

жения цели. Каждому содержанию материала соответствует определенная деятельность по его запоминанию. В этом смысле память оператора отличается некоторой специфичностью.

При управлении машиной по приборам у оператора в том или ином виде проявляются следующие основные формы памяти: непосредственная, оперативная и долговременная. Первые две формы памяти относятся к кратковременной.

Объем непосредственной памяти определяется числом элементов, кусков "материала", воспроизводимых немедленно после их однократного одновременного предъявления.

Под оперативной памятью понимается кратковременное сохранение информации, необходимое для успешного решения задач текущей деятельности и достижения ее целей.

Долговременную память обычно определяют, исходя из соотношения количества элементов, кусков "материала", которое человек способен запомнить, к необходимому для этого числу повторений. Так если для запоминания 9 слов требуется 3 повторения, объем долговременной памяти определяется отношением этих цифр, то есть тремя словами.

Соотношение между объемами различных форм памяти зависит от задач, решаемых системой "человек-машина" и от структуры деятельности оператора.

Исследуя вопросы психологии памяти Браун [по 35] применяет положения теории информации, причем не с точки зрения сохранения информации, а с точки зрения разрушения следов памяти. Забывание он определяет как разрушение следа и оценивает как падение отношения сигнала к шуму или первоначального состояния следа к конечному его состоянию. След в памяти обладает некоторой внутренней избыточностью, то есть большее количество черт, чем это необходимо для сохранения данной информации. Чем больше избыточность следов, считает Браун, тем слабее забывание.

Н.И.Рыжкова [64] провела сравнительное изучение одномерного, двухмерного и трехмерного способов кодирования с точки зрения легкости усвоения, скорости и точности опоз-

навания символов. Испытуемый решал задачу поиска объектов на планшете, при этом число объектов, которые требовалось найти, возрастало, что изменяло нагрузку на оперативную память. Опыты показали, что объем оперативной памяти находится в пределах 4-5 единиц. Мерность кода не оказывала на него существенного влияния. Вместе с тем обнаружилось, что объем оперативной памяти зависит от того, в какой мере запоминаемый материал поддается быстрой логической обработке. Такая обработка выражается прежде всего в группировке символов и перекодировании групп, то есть в формировании более крупных единиц.

В.Я.Ляудис [40] показала, что преобразование запоминаемого материала осуществляется двумя основными способами. Первый из них связан с уменьшением неопределенности материала за счет обнаружения его организации (избыточности), второй - ведет к уменьшению неопределенности в материале путем внесения организации на основе соотношения объектов по каким-либо выбранным испытываемым параметрам.

П.Б.Невельский [46] считает, что логическая обработка запоминаемого материала (перекодирование) обеспечивает уменьшение неопределенности и количества новой информации. При этом уменьшается многозначность и устанавливаются более определенные связи в запоминаемом материале благодаря тому, что часть новой информации идентифицируется с той информацией, которая уже хранится в памяти.

Оценивая роль схемы в процессе памяти, Вудвортс [по 35] считает, что схема с поправкой лучше запоминается чем обычная схема. Так квадрат со щелью легче запомнить чем семиугольник.

В связи с проникновением теории информации в психологические исследования, по аналогии с законом Хика, было высказано предположение, что пороговая величина непосредственно запоминаемой информации является константной. Однако опыты Хейеза [по 42] показали, что объем кратковременной памяти определяется не количеством сохраненной информации, а количеством стимулов в ряду и почти не зависит от

их информационного содержания.

По этому же вопросу проводил исследования Дж.А.Миллер [42], который также установил, что критическим фактором, определяющим возможности непосредственного запоминания, является количество стимулов, а не количество информации, заключенной в них. Можно провести такую аналогию. Если кошелек вмещает только 7 монет среднего размера, чтобы поместить в нем большее количество денег выгоднее брать монеты не 3 - копеечного, а 20 - копеечного достоинства. Так и в нашей памяти есть как бы семь ячеек, и от умения наполнить каждую из них большим количеством информации зависит эффект ее запоминания. Дж.А.Миллер приводит такой пример: имеется 100 букв, 30 слогов, 6 фраз. В таком предложении содержится информация порядка 120 бит. 100 букв человеку не запомнить, трудно запомнить и 30 слогов, 30 же слогов, а тем более 6 фраз он может запомнить. Таким образом Дж.А.Миллер приходит к заключению, что запоминание определяется в основном количеством психологических единиц (кусков), подлежащих запоминанию, а не количеством заключенной в них информации. Механизм памяти он трактует как объединение информации в куски для сокращения количества запоминаемых единиц, ее кодирования и перекодирования. Следовательно, важнейшим элементом развития памяти Дж.А.Миллер считает овладение более экономичными способами кодирования. Автор установил также, что количество повторений, необходимых для запоминания последовательных рядов, зависит от их длины, но не от объема запоминаемой информации. Свой основной вывод он распространил и на долговременную память.

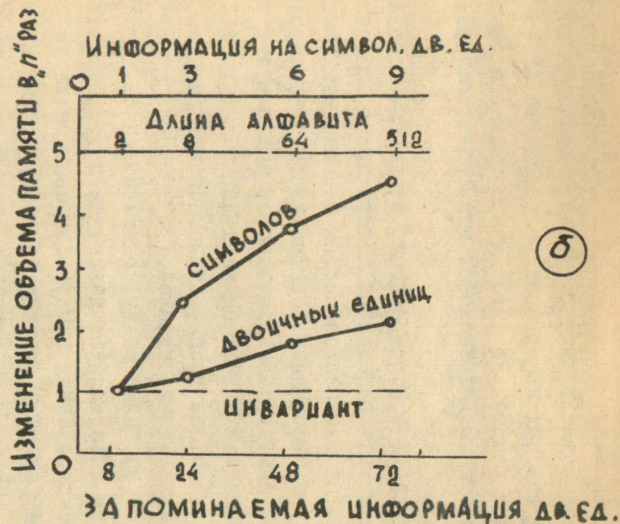
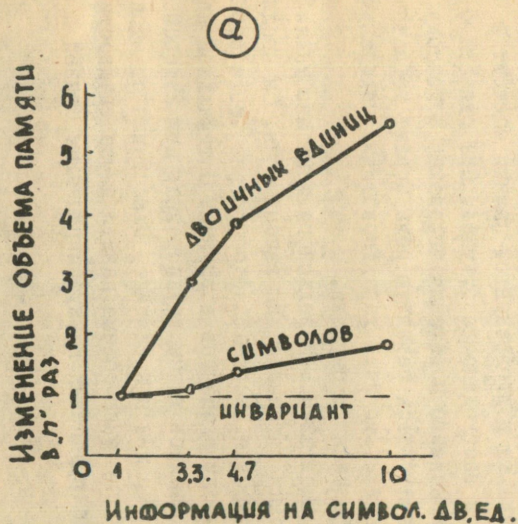
П.Б.Невельский [46] провел фундаментальные исследования по оценке объема оперативной и долговременной памяти. В ряде серий экспериментов, в которых использовались цифры, слова и искусственные понятия, определялось число запоминаемых символов и количество запоминаемой информации (в битах). Процесс передачи материала в долговременную память в ходе повторения П.Б.Невельский рассматривал, как последовательное "вычерпывание" содержащейся в нем информации.

Эксперименты показали, что положение Дж.А.Миллера, согласно которому память зависит лишь от числа символов и не зависит от содержащейся в них информации, справедливо лишь для кратковременной памяти. На фиг. 18 представлены результаты экспериментов П.Б.Невельского, для сравнения даны результаты Хейеза.

Из графика 18 а, построенного по данным Хейеза, следует, что объем кратковременной памяти более близок к инварианту, если он измеряется числом запоминаемых символов, а не количеством информации. График же 18 б, построенный по результатам опытов П.Б.Невельского, показывает, что объем долговременной памяти ближе к инварианту, если измерять его количеством воспроизведенной информации, а не числом воспроизведенных символов.

Указанное различие между кратковременной и долговременной памятью объединяется различием в организации поведения. Кратковременная память связана прежде всего с первичной ориентацией в окружающей среде и поэтому направлена, главным образом, на фиксацию общего числа вновь появившихся сигналов, независимо от их информационного содержания (которое, кстати, нельзя определить по одному сигналу). Задача же долговременной памяти состоит в сохранении того, что необходимо на будущее. Она связана с организацией дальнейшего поведения человека, и поэтому требует предвидения. Здесь решающую роль играют вероятностные характеристики, то есть характеристики, определяющие количество информации в сигнале.

В экспериментах П.Б.Невельского показано также значение группировки материала для запоминания. Он предложил критерий группировки, выражающей отношение числа образуемых групп к числу элементов в группе. Оптимальной для запоминания оказалась такая группировка, при которой данное отношение стремится к единице. Отклонения от этой величины ведет к снижению объема памяти из-за трудности установления межгрупповых и внутригрупповых связей в материале.



ФИГ. 18. Сравнение объема кратковременной и долговременной памяти;  
 а) характеристика кратковременной памяти (по Хейзу)  
 б) характеристики долговременной памяти (по П.Б.Невельскому).

Г.В.Репкина [60] экспериментально показала, что мера запоминаемой информации определяется количеством только новой информации. Куски, которыми оперирует человек в данной ситуации, и есть оперативные единицы памяти. Можно выделить минимальные куски, с которыми еще возможно работать — их определяют методом последовательного расчленения материала. Сопоставление рабочих оперативных единиц с минимально возможными позволяет оценивать единицы памяти. Наибольший объем оперативной памяти получается при работе с такими кодами, оперируя которыми человек может создавать наиболее разнообразные оперативные единицы.

Из опытов Г.В.Репкиной следует также, что оперативная память является не одним из вариантов кратковременной памяти, а представляет собой весьма сложный синтез кратковременной и долговременной памяти. В ходе тренировок оператора, благодаря "перекачке" части информации в долговременную память и формированию нового алфавита, нагрузка на кратковременную память падает, что приводит как бы к увеличению ее объема.

Из всего сказанного по вопросу психологии памяти можно вывести ряд требований к разработке средств сигнализации.

1. Для каждого вида деятельности оператора необходимо выявить роль оперативной памяти и, исходя из этого, решать вопрос о способах подачи информации.

2. Эффективная работа оператора возможна только в том случае, когда порции поступающей информации соответствуют объему оперативной памяти, а интервалы между ними — времени, потребному для перекодирования сигналов.

3. Повысить скорость и надежность запоминания сигналов возможно путем объединения их в такие структуры, которые легко поддаются перекодированию (пространственная и временная группировка сигналов, выделение опорных точек и т.д.).

Принимая во внимание, что инженерная психология занимается выявлением характеристик деятельности оператора, в том числе и механизма памяти, с целью их моделирования,

остановимся вкратце на памяти машин. Заметим, что в последние годы при исследовании памяти применяется метод, основанный на создании физических моделей, действие которых в некоторой степени подобно психическим функциям человека. Недостаточность знаний относительно организации нервных и психических процессов вызывает к жизни много разных гипотез. В основе всех этих гипотез лежат следующие два представления о деятельности мозга [по 25] :

1. Мозг — строго определенная, строго детерминированная система.

2. Процессы в мозгу происходят согласно случайному вероятностному закону.

Сторонники первой гипотезы (Калбарсон, Рашевский) предполагают, что запоминание и хранение информации в нервной системе осуществляется в закодированной форме ("кодовая память"). Код преобразует информацию в образы удобные для хранения в памяти с обязательным однозначным соответствием между ними. То есть, зная код, можно точно определить раздражитель. Сторонники этой гипотезы видят ее подтверждение в памяти электронных машин, где информация хранится в виде кодов.

Сторонники второй гипотезы (Хебб, Розенблатт) полностью отрицают возможность количественных преобразований раздражителей в образы памяти. Они считают, что образы предметов никогда не фиксируются в памяти, а носят характер случайных связей в сложной цепи между центрами активности мозга. Исходя из этой гипотезы, Розенблатт создал модель памяти. В основе действия модели было положено представление о том, что функции памяти распределяются в организме случайным образом и что организм приобретает свойства понимать окружающую обстановку посредством обучения и накопления опыта. В электронной машине "Персептрон" Розенблатт соединил запоминающие ячейки, в основном, случайным образом. Электрические сигналы "восприятия" поступают в большинство запоминающих ячеек и затем в регистрирующее устройство, включая некоторые из его элементов. Сигналы в

ячейках могут усиливаться, что создает возможность превышения одних сигналов над другими. Этим различием обеспечивается запоминание воздействующих "раздражителей". Применяя положительное подкрепление правильных ответов (их большее усиление) и отрицательное подкрепление ошибочных (снижение степени усиления), путем многократных повторений можно добиться правильного реагирования машины, на соответствующие внешние "раздражители".

Сравним функции памяти человека и электронной машины.

1. Физической основой человеческой памяти является способность нервных клеток сохранять изменения, возникающие под влиянием внешних воздействий. В машине также от внешних воздействий меняется устойчивое состояние ее элементов (например, фоточувствительного элемента или магнитофонной ленты).

2. У человека все представления — результат работы памяти, их произвольно уничтожить невозможно. В машине же можно регулировать, стирать запоминаемую информацию.

3. У человека представления могут возникать без раздражающего стимула. В машинной памяти этого не бывает.

4. Надежность работы человеческой памяти не зависит от одного элемента (Пастер лучшие свои работы сделал после кровоизлияния в мозг, когда часть его нервных клеток бездействовала). Работа же машины очень часто прекращается из-за одного элемента.

5. Машина обычно имеет последовательную, по-шаговую форму обработки информации. Человек же, наряду с последовательной системой, обладает высокой параллельностью действий.

Таким образом у человека еще многое можно позаимствовать для создания электронных машин, в имитации некоторых его функций заложен процесс техники.

#### 5. Значимость информации и ее оценка

При рассмотрении временных характеристик деятельности оператора мы говорили об опытах А.Е.Ольшанниковой

[51] , которые показали, что время реакции на тот или иной сигнал зависит от значимости для оператора этого сигнала.

А.Н.Леонтьев и Е.П.Кринчик [38] [39] в своих исследованиях также подтвердили влияние фактора значимости сигнала на процесс переработки информации. Они показали, что включение этого фактора в эксперимент приводит как к снижению времени реакции на более значимый сигнал, так и к уменьшению более чем в 3 раза угла наклона характеристики ВР ( J ).

Таким образом фактор значимости является психологической характеристикой состояния человека и может быть учтен по времени реакции.

Как уже отмечалось, в количественных оценках информации, полученных методами теории информации, не учитывается отношение человека к смысловому содержанию сообщения. "Это и есть та цена, - как метко замечает Бриллиен [6] , - которую мы должны уплатить за возможность построения этой области знания". Однако при решении теоретических и практических задач имеется потребность в оценках, которые учитывали бы и значимость для оператора данной информации. Так исходя из значимости информации, выдаваемой прибором, возможно обосновать требования к его техническому обслуживанию, определить методику обзора контрольных приборов технического комплекса.

А.А.Харкевич [75] предложил оценивать значимость информации как функцию вероятности достижения цели до и после получения информации:

$$C = \log_2 \frac{R_0}{R_1}, \quad (3.14)$$

где  $C$  - характеристика значимости информации,

$R_0, R_1$  - вероятности достижения цели соответственно до и после получения информации.

Цель деятельности оператора в большинстве комплексов "человек-машина" состоит в приведении к норме ( с требуемой степенью точности) отклонившихся регулируемых параметров и предупреждении их "ухода" за допустимые пределы.

Невыполнение этой задачи может быть чревато для оператора последствиями материального или морального порядка, а в таких комплексах как самолет, может даже угрожать жизни самого оператора и связанных с комплексом людей. С получением каждого нового сообщения о состоянии комплекса оператор по-новому оценивает свои возможности для достижения поставленной перед ним цели. На основе этих данных складывается определенное отношение оператора к полученной информации, формируется оценка ее операторской значимости.

Рассмотрим систему "человек-машина", в которой деятельность оператора ограничена во времени. Выявим физические и психологические факторы, на основе которых у оператора складывается оценка значимости полученной информации [29].

1. Информация, используемая оператором при управлении машиной, может быть разделена, как отмечает Д.А.Ошанин [54], на две группы:

- семантическую (осведомительную), свидетельствующую о том, что параметры машины имеют значения, соответствующие заданной программе управления;

- прагматическую, указывающую на появление отклонений параметров от нормы и необходимость вмешательства оператора в управление. Роль оператора, с точки зрения его воздействия на машину, сводится к установлению такого режима работы машины, когда контрольные приборы будут выдавать семантическую информацию, при которой вероятность невыполнения задания снижается до нуля.

2. При оценке информации оператор всегда учитывает положение организмов управления в момент ее получения. Информация будет семантической только тогда, когда заданные значения параметров появятся при положениях органов управления, соответствующих заданному режиму. При иных положениях органов управления та же информация уже не будет семантической, так как для ее сохранения потребуются управляющие действия.

3. С отклонением регулируемых параметров от нормы

В общем случае уменьшается вероятность выполнения задания. Исходя из этого В.И.Николаев [48] предложил меру для оценки значимости информации:

$$\frac{\Delta x}{\Delta x_{\max}} = \frac{|x - X|}{\Delta x_{\max}}, \quad (3.15)$$

где  $X$  - заданное значение измеряемого параметра,  
 $x$  - текущее значение параметра,  
 $\Delta x_{\max}$  - его предельно-допустимое отклонение,  
 $\Delta x$  - абсолютная величина возникшего отклонения.

4. Чем быстрее отклоняется параметр к предельно-допустимому значению, тем сложнее оператору предотвратить его переход за допустимые границы, тем меньше в таком случае оценивается вероятность достижения цели.

5. Оценка вероятности достижения цели зависит от трудности, которую представляют для оператора управляющие действия в ответ на полученную информацию.

6. На оценках вероятности достижения цели отражается программа управления. Если сообщение об отклонении поступило в момент, когда по программе управления оператор должен ввести такое же отклонение параметров, то подобное совпадение облегчает оператору выполнение поставленной цели.

Все вышеперечисленные факторы возможно учесть посредством одной характеристики - резервного времени. Откуда можно выдвинуть такую гипотезу - по изменению резервного времени, в связи с получением новой информации, может определяться вероятность достижения цели, а следовательно (согласно А.А.Харкевичу) и операторская значимость информации. Так как в каждой системе управления оператор действует в условиях какого-то среднего дефицита времени, вероятность достижения цели правильнее определять как функцию не абсолютного, а относительного значения резервного времени.

Обозначим:  $\theta_i = \frac{t_{\text{рез}i}}{t_{\text{рез}}}, \quad (3.16)$

где  $\theta_i$  - относительное значение резервного времени, присущее с  $i$ -у сообщению. Оно характеризует

дефицит времени, возникающий у оператора с получением  $i$ -го сообщения на фоне среднего дефицита времени, при котором действует оператор в данном комплексе ( $\bar{t}_{res}$ ).

Появление событий невыполнения оператором поставленной цели характеризуется такими свойствами, которые позволяют сделать предположение, что данный процесс является пуассоновским [9]. Исходя из этого, представим функцию операторской значимости информации следующей зависимостью:

$$C_{ik} = e^{-\theta_k} \cdot e^{-\theta_i} = e^{-\lambda t_{resk}} - e^{-\lambda t_{resi}}, \quad (3.17)$$

где  $\lambda = \frac{1}{\bar{t}_{res}}$  - интенсивность появления событий невыполнения задания оператором,

$C_{ik}$  - функция значимости  $k$ -го сообщения, полученного после сообщения  $i$ ,

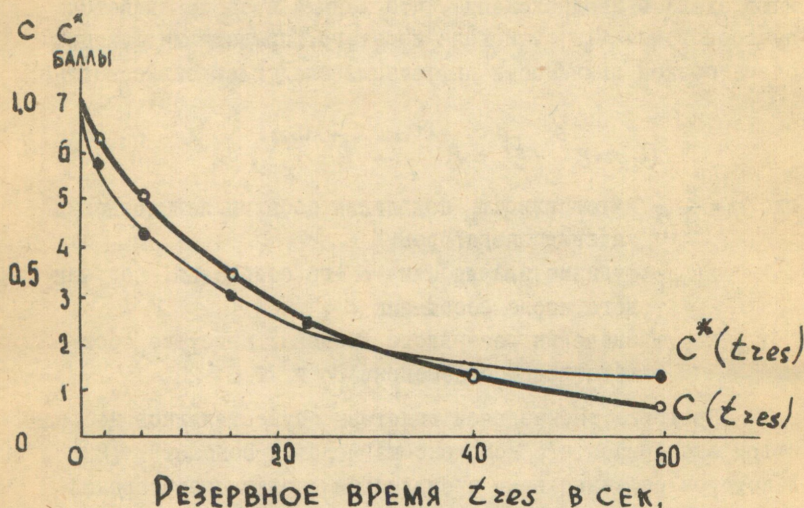
$t_{resi}, t_{resk}$  - значения резервного времени, присущие соответственно сообщениям  $i$  и  $k$ .

Проверка высказанной гипотезы осуществлялась посредством эксперимента с комплексом "человек-самолет" [29], в котором особенно ярко проявляются оценки операторской значимости. Эксперименты состояли в предъявлении летчикам сообщений о различных состояниях режима полета и получении оценок значимости, которыми летчики определяли эти сообщения. Для каждого сообщения было подсчитано присущее ему резервное время, поэтому представлялось возможным связать эту характеристику с оценкой значимости, которую дали этому сообщению летчики. Сообщения предъявлялись летчикам с приборной доски, оборудованной действующими пилотажными приборами.

По результатам эксперимента на фиг. 19 построена характеристика  $C^*(t_{res})$ , определяющая изменение операторской значимости сообщений, как функция времени реакции. На той же фиг. 19 жирной линией представлена кривая

$C(t_{res})$ , полученная расчетным путем по формуле (3.17). Масштаб кривой  $C(t_{res})$  по оси ординат принят таким образом, чтобы единица вероятности невыполнения задания

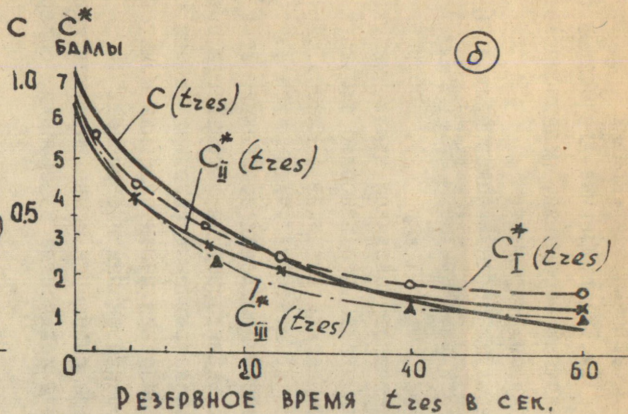
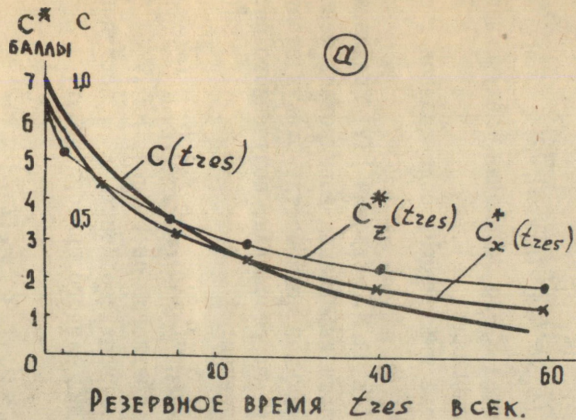
соответствовала максимальной значимости сообщения (которая принята была в 7 баллов).



Фиг. 19. Сравнение теоретической  $C(t_{res})$  и экспериментальной  $C^*(t_{res})$  характеристик функции значимости информации.

Сравнение экспериментальной и эмпирической кривой показывает, что они (в 5 точках из 8) совпадают в интервале, соответствующем доверительной вероятности,  $\beta=0,99$ , а в трех остальных точках расхождение между кривыми не превышает значения  $\sigma$  для этих точек или одного балла.

На фиг. 20а представлены экспериментальные кривые  $C_z^*(t_{res})$  и  $C_x^*(t_{res})$ , полученные по оценкам отклонений самолета соответственно относительно продольной



Фиг. 30. Сравнение теоретической и экспериментальных кривых функции значимости информации. а)  $C_z^*(t_{res})$  и  $C_x^*(t_{res})$  экспериментальные кривые, построенные по оценкам сообщений об отклонениях самолета соответственно относительно продольной и поперечной оси. б)  $C_I^*(t_{res})$ ,  $C_{II}^*(t_{res})$ ,  $C_{III}^*(t_{res})$  экспериментальные кривые, полученные по данным летчиков соответственно I, II и III класса.

и поперечной его осей. Сравнение этих кривых с эмпирической показывает, что формула (3.17) применима для оценки операторской значимости различных сообщений, независимо от того, какую физическую природу они отражают.

На фиг. 20 б, наряду с теоретической кривой  $C(t_{res})$ , представлены экспериментальные кривые  $C_I^*(t_{res})$ ,  $C_{II}^*(t_{res})$  и  $C_{III}^*(t_{res})$ , построенные по результатам отсчетов летчиков различной квалификации. Статистический анализ показывает, что наиболее близка к теоретической кривой характеристика летчиков I класса.

В проведенном эксперименте не учитывается фактор психологической неожиданности появления сообщений. Этот фактор можно учесть с помощью характеристики вероятности появления данного сообщения в рассматриваемых условиях работы системы "человек-машина". Последняя характеристика может быть выражена через шенноновские оценки информации.

Поэтому значимость сообщения можно выразить как функцию резервного времени и количества информации, содержащегося в сообщении:

$$U_{ik} = \varphi [C_{ik}(t_{res}), J_k],$$

где  $U_{ik}$  - значимость  $k$ -го сообщения, полученного после сообщения  $i$ .

$J_k$  - количество информации, содержащееся в сообщении  $k$ .

В.И.Николаев [48] и А.И.Губинский [17] предлагают для определения значимости информации нормировать шенноновскую меру информации функцией значимости. Следуя этому пути, определим значимость  $k$ -го сообщения, полученного после сообщения  $i$ , произведением:

$$U_{ik} = J_k C_{ik}(t_{res}) = C_{ik}(t_{res}) \cdot p_k \log_2 p_k,$$

где  $p_k$  - вероятность появления сообщения  $k$ .

Средняя значимость всех сообщений  $k$ , поступивших после различных сообщений данного прибора будет:

$$U_k = J_k \sum_{i=1}^{n-1} q_{ik} \cdot C_{ik}(t_{res}),$$

где  $n$  - общее число возможных сообщений приборов;  
 $q_{ik}$  - вероятность поступления сообщения  $k$  после сообщения  $i$ .

Средняя операторская значимость всех сообщений, поступающих от рассматриваемого прибора, в результате определяется:

$$U = \sum_{k=1}^n p_k^2 \log_2 p_k \sum_{i=1}^{n-1} q_{ik} (e^{-\lambda t_{resk}} - e^{-\lambda t_{resi}}). \quad (3.18)$$

Необходимые для расчета по формуле (3.18) данные - вероятности появления и чередования отдельных сообщений, а также соответствующие им значения резервного времени, определяются экспериментально и путем расчетов из рабочих характеристик системы "человек-машина".

#### IV. ТОЧНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА И СИСТЕМЫ "ЧЕЛОВЕК-МАШИНА"

##### I. Проблема точности

При оценке любой системы управления неизбежно возникает вопрос точности ее работы. Задача обеспечения заданной точности работы системы является одной из наиболее важных и вместе с тем наиболее сложных. Решение такой задачи требует учета многих разнообразных, а иногда и противоречивых условий. Так повышение точности системы часто достигается за счет ее усложнения. Но усложнение, в свою очередь, увеличивает вероятность появления ошибок. Покажем это на примере.

Предположим, система управления состоит из двух последовательных звеньев  $x_1$  и  $x_2$ , ошибки в работе которых возникают независимо. Пусть вероятность безошибочной работы первого звена  $R(x_1)$  и второго звена  $R(x_2)$  одинаковая:

$$R(x_1) = R(x_2) = 0,95$$

Общая вероятность безошибочной работы всей системы

$R(x_1, x_2)$  определится произведением:

$$R(x_1, x_2) = R(x_1) R(x_2) \approx 0,9.$$

Теперь предположим, что с целью повышения точности системы ее пришлось усложнить добавлением еще одного звена  $x_3$ . Вероятность появления ошибки в этом звене не зависит от действия остальных звеньев и пусть также равняется

$$R(x_3) = 0,95.$$

Общая вероятность безошибочной работы усовершенствованной системы теперь будет:

$$R(x_1, x_2, x_3) = R(x_1) \cdot R(x_2) \cdot R(x_3) = 0,855.$$

То есть, если старая система имела низкую точность,

которая поддерживалась с вероятностью 0,9, то новая система будет более точной, однако вероятность поддержания такой точности будет уже ниже - 0,955. В данном случае для повышения точности системы пожертвовали стабильностью ее работы.

Еще один пример. При бомбометании с помощью автопилота и прицела достигалась точность в пределах радиуса в I километр, при этом вероятность безошибочной работы

$R_1 = 0,99$ . Предположим, такая точность была недостаточной, поэтому прицел усовершенствовали и добились точности попадания в радиусе 0,7 километра. Но при этом вероятность безошибочного бомбометания снизилась до  $R_2 = 0,95$ . Если раньше только одна бомба из ста могла упасть вне радиуса I километра, то теперь вне радиуса 0,7 километра (а возможно, и вне радиуса I-го километра) может упасть уже 5 бомб. Вполне очевидно, что повышение точности прицела таким путем оказалось нецелесообразным.

Можно привести примеры, показывающие нецелесообразность повышения точности за счет увеличения веса габаритов системы ее надежности, с точки зрения экономической и многих других соображений. Все эти примеры свидетельствуют о том, насколько сложна и противоречива задача повышения точности действия системы.

Однако усложнение системы, включение в нее дополнительных элементов, к счастью, не всегда снижает вероятность ее безошибочной работы, а при определенных условиях может даже повышать эту вероятность. Все зависит от того, какие элементы и каким образом включаются в систему. Кроме того, усложнение одних частей может привести к созданию более благоприятных условий для других, что, естественно, увеличивает вероятность безошибочной работы последних. В принципе для любой системы управления независимо от ее сложности, можно добиться высокой точности. Но для этого необходимо оценить условия работы каждого звена, выявить его характерные ошибки, их "удельный вес" в конечной ошибке всей системы, вскрыть причины этих ошибок и

найти пути их устранения. В решении этого вопроса большое значение имеет изучение ошибок оператора. Многие из них вытекают из несогласованности конструктивных особенностей машины с характеристиками человека и могут быть устранены путем изменения отдельных элементов системы управления на основе рекомендаций, разработанных инженерной психологией.

Так что же такое точность, как определить это понятие? Б.Ф.Ломов [34] дает для нее следующее определение: "В общем случае под точностью понимается качество приближения зависимостей, существующих между звеньями системы управления, к тем заданным зависимостям, для осуществления которых она спроектирована и изготовлена".

В реальном процессе управления, как бы точно он не был рассчитан, допускаются отклонения регулируемых параметров в некоторых определенных пределах. Такие отклонения характеризуют погрешность процесса регулирования. Выход отклонений регулируемых параметров за пределы допуска (или превышение погрешностью допустимых пределов) означает ошибку системы управления.

В технике точность системы принято характеризовать величиной, обратной ее погрешности. Общая погрешность всей системы получается как результат аккумуляции погрешностей, возникающих в каждом из звеньев. Причем в одних случаях погрешности звеньев возникают независимо друг от друга, в других — погрешность одного звена неизбежно порождает погрешность в работе других звеньев. При этом величина погрешности по мере перехода воздействия от звена к звену непрерывно возрастает. Очевидно, при усовершенствовании системы следует уделять особое внимание ликвидации таких погрешностей, которые имеют большой "удельный вес" в общей ошибке системы.

При оценке общей ошибки действия системы требуется дифференцированный анализ ошибок, возникающих на разных этапах регулирования: в процессе приема осведомительной информации, ее преобразования, в процессе выработки ко-

манды и передачи управляющего сигнала к объекту и т.д. При этом требуется выявить закономерности суммирования, аккумуляции отдельных ошибок на выходе системы. Причем инженерную психологию в первую очередь интересуют ошибки оператора и их "удельный вес" в общей погрешности системы.

Рассмотрим ошибки оператора, допускаемые им при оценке состояния управляемого объекта, то есть ошибки измерения параметров режима работы объекта.

## 2. Ошибки измерения и их классификация

Измерением называют процесс, заключающийся в сравнении, путем физического эксперимента, данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу [49].

Как известно, различные предметы могут сравниваться между собой по каким-то определенным однородным свойствам, то есть свойствам, которые возможно сопоставить между собой только по признаку "больше-меньше". Ряды, составленные по однородным свойствам различных предметов, называются последовательными натуральными рядами. Так если из всех свойств предметов выбрать свойство веса, то их можно расположить по этому признаку в ряд таким образом, чтобы каждая из входящих в него величин была больше всех предыдущих и меньше всех последующих.

Для того, чтобы произвести измерение, нужно, после расстановки предметов в последовательный натуральный ряд, выбрать некоторые из значений в качестве отправных (реперных) точек. Совокупность выбранных реперных точек образует некоторую лестницу или шкалу<sup>x)</sup> возможных значений измеряемой величины. С развитием техники измерения вместо натуральных шкал появились функциональные. Если в натуральной шкале реперов не было данных о соотношении отдельных интервалов между реперными точками, то в функциональной шкале между ее интервалами существует определенная связь, устанавливаемая посредством другой физической ве-

x) шкала от лат. *scala* - лестница.

личины, функционально связанной с измеряемой. Так для определения температурной шкалы между реперными точками  $0^{\circ}$  и  $100^{\circ}\text{C}$  используются значения электрического сопротивления платиновых элементов термометра. Таким образом функциональные шкалы позволяют достигать пропорционального деления шкал измеряемых величин.

В качестве единицы измерения обычно принимаются интервалы функциональной шкалы измеряемой величины.

В задачу измерения входит не только нахождение самой величины, но также оценка погрешности, допущенной при измерении.

Ошибка оператора может быть положительной (переоценка истинной величины) и отрицательной (недооценка истинной величины).

В технике и психологических исследованиях все ошибки, допускаемые человеком, принято делить на систематические и случайные.

Систематические ошибки вызываются факторами, действующими одинаковым образом при многократном повторении одних и тех же измерений. Такие ошибки обусловлены рядом причин:

- теоретическими, вызванными некоторыми неучтенными физическими факторами (например, неучтенной аэродинамической поправкой при измерении скорости),

- инструментальными, определяемыми ограниченной точностью измерительного инструмента,

- личными погрешностями оператора, которые могут быть аналитически учтены (например, параллакс, возникающий при отсчете прибора, установленного у края приборного дита).

Случайные ошибки возникают под влиянием факторов, которые невозможно точно учесть - нестабильности условий опыта (например, влияния изменяющейся температуры или изменяющегося давления), нестабильности действия операторов и различия их личных качеств, которые трудно учесть аналитически. Такие ошибки неустранимы, их можно выявить на

основе эксперимента и учесть с помощью методов теории вероятности.

Иногда выделяют еще третью группу ошибок - грубые случайные ошибки, промахи. Они обусловлены, как правило, недостаточным вниманием оператора. Их выявляют обычно путем повторения измерений, причем делают это спустя некоторое время, когда оператор уже забыл полученные данные.

Все ошибки, независимо от их природы, принято анализировать в следующих формах.

1. Абсолютная ошибка - разность между измеренной и действительной величиной. За действительную величину принимают результаты измерения, выполненные прибором более высокой точности.

Пусть  $a_x$  - измеренная величина,  $a$  - действительная величина. Абсолютная ошибка данного измерения ( $\Delta a$ ) тогда определяется:

$$\Delta a = a_x - a. \quad (4.1)$$

Она выражается в тех же единицах, что и измеряемая величина.

Следует отметить, что абсолютная ошибка не характеризует точность измерения. Так если секундомер измеряет время с погрешностью до 0,1 сек, такая точность для многих технических измерений оказывается весьма высокой, в то же время для измерения времени реакции такая точность мала, а для оценки длительности импульсов биотоков мозга она просто неудовлетворительна. Поэтому для оценки погрешности и измерения используются относительные ошибки.

2. Относительная ошибка ( $\beta$ ) - отношение абсолютной ошибки ( $\Delta a$ ) к действительному значению измеряемого параметра ( $a$ ), выраженное в процентах:

$$\beta = \frac{\Delta a}{a} 100\% = \frac{a_x - a}{a} 100\%. \quad (4.2)$$

Как следует из последней формулы (4.2), с уменьшением значения измеряемой величины относительная ошибка бесконечно возрастает. Поэтому относительная ошибка является только

показателем ошибки измерения, но не ошибки прибора. Для оценки погрешности прибора используются приведенные ошибки.

3. Приведенная ошибка ( $\beta_n$ ) - отношение абсолютной ошибки к верхнему пределу измерения - максимальному значению шкалы  $a_m$  (или диапазону шкалы, если в среднем шкалы имеется нулевая отметка):

$$\beta_n = \frac{\Delta a}{a_m} 100\% = \frac{a_x - a}{a_m} 100\%. \quad (4.3)$$

Приведенная ошибка показывает точность измерительного прибора. По ее максимальной величине оценивают его класс точности. Значение максимальной приведенной ошибки записывается непосредственно на передней шкале прибора.

По классу точности в нормальных условиях работы приборы делятся на следующие группы:

Т а б л и ц а 4

Класс точности	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Максимальная приведенная ошибка $\beta_n$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$

Ошибки приборов в нормальных условиях называются основными, а в условиях, отличных от нормальных - дополнительными (например, измерение при другой температуре или иной давлении).

### 3. О методах количественной оценки ошибок измерения

Определение значений систематических и случайных ошибок осуществляется обычно экспериментальным путем. Оператора ставят в условия, максимально приближенные к реальным, и предлагают отсчитывать показания данного прибора, которые задаются посредством более точного - эталонного прибора.

Предположим, при измерении величины  $A$  оператор допускал абсолютные ошибки  $\Delta a_1, \Delta a_2, \dots, \Delta a_n$ . Вероятность появления каждого значения абсолютной ошибки оказалась соответственно  $p_1, p_2, \dots, p_n$ .

Средняя величина систематической ошибки ( $\Delta \bar{a}$ ) определяется математическим ожиданием ( $M(\Delta a)$ ) всех различных значений абсолютных ошибок:

$$\Delta \bar{a} = M(\Delta a) = \sum_{i=1}^n p_i \Delta a_i. \quad (4.4)$$

Очевидно при  $\Delta \bar{a}_i = 0$  систематическая ошибка будет отсутствовать.

Аналогичным путем, по величине абсолютных ошибок, подсчитываются систематические ошибки всех звеньев системы. Если эти ошибки независимы, то общая систематическая ошибка всей системы ( $M_s$ ) определяется суммой систематических ошибок всех ее  $K$  отдельных звеньев:

$$M_s = M_1 + M_2 + \dots + M_K, \quad (4.5)$$

где  $M_1, M_2 \dots M_K$  - систематические ошибки соответственно 1, 2 ..  $K$  звена.

Так если при измерении скорости полета приемник воздушного давления имеет систематическую ошибку +5 км/час, указатель скорости измеряет этот параметр с постоянной ошибкой +10 км/час и летчик при отсчете показаний скорости допускает систематическую ошибку - 10 км/час, то общая систематическая ошибка измерения скорости будет +5 км/час (+5+10-10).

Средства борьбы с систематическими ошибками сравнительно несложны. Ошибки отдельных звеньев можно устранить их калибровкой или изменением градуировки. Систематические ошибки, которые не удается устранить, сводят в специальные таблицы, графики поправок, которые оператор учитывает при управлении системой.

Значительно сложнее анализировать случайные ошибки

и бороться с ними. Случайные ошибки обычно оценивают по среднеквадратическому - "стандартному" отклонению ( $\sigma$ ):

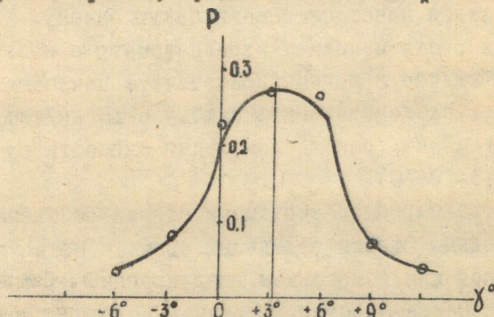
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta a_i - \Delta \bar{a})^2}{N-1}}, \quad (4.6)$$

где  $N$  - число испытаний,

$\sigma$  - мера дисперсии, рассеяния погрешностей вокруг среднего значения  $\Delta \bar{a}$ .

Случайные ошибки, если они независимы, обычно распределяются по нормальной кривой, по которой возможно достаточно точно предсказать появление тех или иных ошибок. Так известно, что 50% всех ошибок лежит в пределах  $\Delta \bar{a} \pm 0,6745 \sigma$ ; 68,6% - в пределах  $\Delta \bar{a} \pm \sigma$ , 99,7% - в пределах  $\Delta \bar{a} \pm 3\sigma$ . Зная значение  $\sigma$  и задавая соответствующий предел абсолютной погрешности  $\pm \Delta a$ , можно с помощью таблицы нормированных функций Лапласа [9] определить вероятность появления ошибки в заданном пределе.

Приведем пример. При определении ошибок, которые допускают летчики при отсчетах угла крена по указателю поворота, на основе результатов массового эксперимента была получена кривая, представленная на фиг. 2I.



Фиг. 2I. Характеристика распределения частот ошибок, допущенных при отсчетах углов крена по указателю поворота.

С помощью статистического критерия различия "хи - квадрат" было установлено, что полученное распределение можно считать нормальным. Это распределение характеризуется значениями  $\Delta\bar{\alpha}=3,1^{\circ}$  и  $\sigma=4,0^{\circ}$ ,

Анализ полученных результатов показал, что данная систематическая ошибка обусловлена тем, что летчики при отчетах угла крена по указателю поворота не учитывали скорость полета. Этот прибор проградуирован для скорости полета 500 км/час. Большинство отчетов летчики делали при установке на выдерживание меньшей скорости 400-450 км/час, а соответствующую поправку некоторые из них не вводили.

В проведенном эксперименте было ограниченное число опытов ( $N=300$ ), поэтому требовалось оценить доверительный интервал, в пределах которого лежат полученные значения ошибок [9]. При доверительной вероятности  $\beta=0,5$ , он оказался:

$$\begin{array}{ll} \text{для систематических ошибок} & \Delta\bar{\alpha}=2,7-3,0^{\circ}, \\ \text{для случайных ошибок} & \sigma=3,67-4,31^{\circ}. \end{array}$$

По таблице нормированных функций Лапласа было установлено, что 91-93% всех отчетов углов крена по указателю поворота летчики выполняют с абсолютной погрешностью, не превышающей  $7,5^{\circ}$ .

+  
+     +

По значениям случайных ошибок отдельных звеньев (если они независимы) возможно определить общую случайную ошибку всей системы:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2}, \quad (4.7)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$  - случайные ошибки соответственно 1, 2 ... k звена,

$\sigma_s$  - случайная ошибка всей системы.

Случайные ошибки аккумулируются в соответствии с их квадратами и этот факт имеет существенное практическое значение. Покажем это на конкретном примере.

Предположим, что указатель поворота измеряет углы крена самолета со случайной ошибкой  $\sigma_1 = \pm 1,5^{\circ}$ , случайная ошибка отсчета летчика по этому прибору, как было показано,  $\sigma_2 = \pm 4,0^{\circ}$ , случайная ошибка, допускаемая летчиками при выдерживании угла крена самолета,  $\sigma_3 = \pm 1,0^{\circ}$ . Тогда общая случайная ошибка, которую допускают летчики при выдерживании угла крена по указателю поворота ( $\sigma_s$ ), получится:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = 4,4^{\circ}.$$

Если для повышения точности действия системы будет полностью устранена случайная ошибка прибора ( $\sigma_1 = 0$ ) и случайная ошибка управления ( $\sigma_3 = 0$ ), то случайная ошибка системы снизится до  $\sigma_s' = 4,0^{\circ}$  (то есть на 9%).

Если бы удалось устранить ошибку отсчета, то случайная ошибка системы снизилась бы до  $\sigma_s'' = 1,8^{\circ}$  (то есть на 59%).

Из приведенного примера следует важное заключение, что целесообразно бороться, в первую очередь, со случайными ошибками тех звеньев, у которых эти ошибки наибольшие. Очень часто таким звеном оказывается человек. Из примера следует и другой вывод: если оператор допускает большие случайные ошибки, нет смысла повышать точность прибора. В таком случае целесообразно добиваться лучшего согласования прибора с оператором, снижения погрешностей его отсчетов и, таким образом, снижения случайной ошибки всей системы.

Для совместной оценки систематических и случайных ошибок системы может быть использована следующая зависимость:

$$\sigma_s^* = \sqrt{\sigma_s^2 + M_s^2} = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2) + (M_1 + M_2 + \dots + M_k)^2}, \quad (4.8)$$

где  $\sigma_s^*$  — общая ошибка системы.

При оценке ошибок системы иногда используют характеристику вариации ( $\nu_s$ ):

$$\nu_s = \frac{\sigma_s}{M_s} . \quad (4.9)$$

Если систематическая ошибка мала по сравнению со случайной, первой иногда пренебрегают. Так при  $\nu_s > 3$ , доля постоянной ошибки в общей равна нескольким процентам и постоянную ошибку можно не учитывать.

#### 4. Влияние психологических факторов на точность работы оператора

Любое действие оператора обусловлено системой различных психических процессов, поэтому выявить природу его ошибок оказывается значительно сложнее, чем установить причину ошибок технических звеньев. Одна и та же ошибка оператора может возникнуть по разным причинам: из-за ошибки при восприятии сигнала, ошибки его узнавания или ошибки при его оценке.

Ошибки, связанные с переработкой информации, возникают по следующим причинам:

- оператор, выполняя некоторые расчеты, допускает округления, пренебрежения,
- при пересчете полученных данных с ошибкой,
- ошибки расчета вызывают появление дополнительных ошибок в управлении.

Таким образом, ошибки восприятия, переработки информации и управления оказываются взаимообусловленными, поэтому формулы (4.5) и (4.7) к ним применять нельзя. В подобных случаях приходится брать общую ошибку звена "оператор" и рассматривать ее совместно с ошибками технических звеньев.

Бороться с ошибками оператора, возникающими на разных этапах психической деятельности, очевидно следует различными средствами. Для этого требуется провести детальный анализ динамики психических процессов и учесть многие вли-

яющие на нее факторы. Все это объясняет сложность задачи выявления природы ошибок оператора.

Точность действия оператора не постоянна и изменяется в зависимости от характеристик сигнала, степени сложности задачи, условий труда, темпа работы, функционального состояния нервной системы, обученности, индивидуальных качеств и многих других факторов.

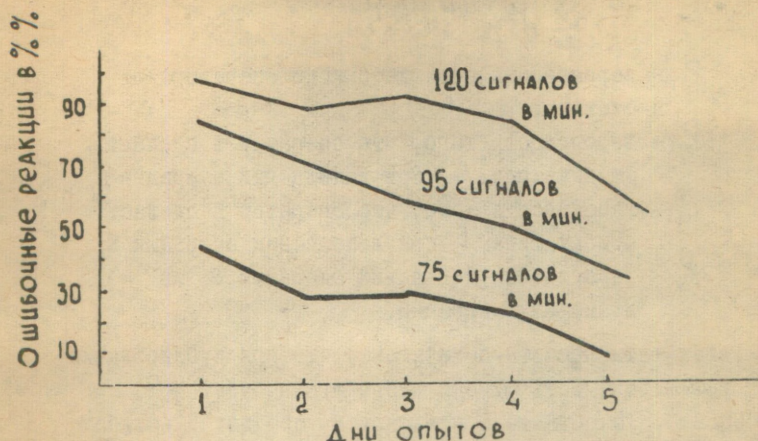
В дальнейшем ограничимся рассмотрением основных факторов, обуславливающих точность работы оператора.

Установлено, что чем ближе характеристика сигнала к пороговым значениям, тем больше ошибок допускает человек в ответных реакциях на эти сигналы.

В опытах, проведенных в лаборатории индустриальной психологии ЛГУ, исследовался вопрос о влиянии темпа на точность работы оператора [по 34]. Было установлено, что с ростом темпа точность работы операторов снижается (фиг. 22). С понижением темпа точность возрастает, но только до определенного предела. Отсюда следовало заключение, что для всякой деятельности оператора существует некоторый оптимальный темп работы, обеспечивающий наибольшую точность. В том же исследовании было показано, что по мере тренировки точность работы оператора возрастает. Имеются многочисленные данные о том, что с утомлением оператора изменяется и точность его работы.

Г.А.Сергеев и А.Ф.Романенко [65], исследуя деятельность оператора в условиях дефицита времени, показали, что в затруднительных условиях человек способен сохранять устойчивость работы, жертвуя в какой-то степени точностью. Очень высокие и жесткие требования к точности могут приводить к снижению устойчивости и даже к срывам в работе оператора. Здесь возникает такой же конфликт, что и в системах автоматического регулирования: условия устойчивости системы требуют определенной величины коэффициента усиления, что в свою очередь снижает точность. Следовательно, задавая оператору уровень точности, необходимо предусмотреть такие допуски, которые бы обеспечили длительное со-

хранение требуемой устойчивости.



Фиг. 22. Изменение точности действия оператора в процессе тренировок (по Б.Ф.Ломову).

Эффективным средством повышения точности является более рациональная конструкция индикаторных устройств и органов управления.

Большие возможности в повышении точности открывает принцип дублирования звеньев системы. Чапанис приводит такой пример со счетной машиной [по 34]. Экспериментально было доказано, что, при оптимальном согласовании характеристик машины с возможностями оператора, последний допускал 1-2% ошибок. Такая точность не удовлетворяла требованиям, предъявляемым к данной системе. Чтобы разрешить вопрос было предусмотрено дублирование операторов. Специальное устройство сравнивало результаты их работы и пропускало только те, которые были полностью идентичны. В таком случае вероятность ошибки дублированного звена оператора определялась вероятностью появления одновременно одинаковой ошибки у обоих операторов. Эта

величина находится по формуле:

$$P_{\text{ет}} = \sum_{S=1}^{S=N} [P_S \sum_{i=1}^{i=h} (P_{esi} P'_{esi})],$$

где  $P_{\text{ет}}$  - вероятность прохода ошибки оператора в систему,  
 $P_{esi}$  - вероятность того, что оператор А сделает ошибку типа  $i$  при выполнении операции  $S$ ,  
 $P'_{esi}$  - вероятность того, что оператор В сделает ошибку типа  $i$  при выполнении операции  $S$ ,  
 $P_S$  - вероятность появления операции  $S$  из  $N$  возможных операций.

Результаты расчета показывают, что при дублировании операторов вероятность ошибки этого звена будет  $P_{\text{ет}} = 0,00003639$ . То есть теперь в систему пройдет 37 ошибок на миллион, против 1 ошибки на сотню при работе одного оператора.

Один из способов повышения точности работы оператора заключается в введении в схему дополнительных контуров, обеспечивающих выдачу оператору информации о характере его управляющих действий. Причем важно, чтобы эта информация поступила к оператору раньше, чем управляющий сигнал достигнет выхода системы, то есть до наступления результатов, обусловленных управляющим воздействием. Так летчик, управляя самолетом, оценивает свои управляющие действия только по изменению параметров режима полета.

Одним из способов сложных элементов деятельности летчика и многих других операторов системы "человек-машина" является умение ощущать инертность управляемой системы и согласовывать с ней свои управляющие действия. Для повышения точности работы летчиков, на современных самолетах устанавливают специальные индикаторы, указывающие положение органов управления. Благодаря таким индикаторам оператор сразу оповещается о введенных в систему управляющих сигналах. Естественно, что подобные индикаторы позво-

лят оператору лучше ощутить инертность управляемой системы и, следовательно, повысить точность управления.

С целью повышения точности, в систему управления иногда включают блокирующие устройства, пропускающие только те управляющие сигналы, которые не превышают определенной величины. Так, например, в автопилоте предусмотрены специальные устройства, предотвращающие такие отклонения рулей, которые смогли бы привести к резкой эволюции самолета.

Следует отметить, что, наряду с указанными путями, повышение точности работы операторов достигается и путем специального профессионального их отбора, обучения, рациональной организацией условий и режима труда.

#### 5. Точность как индикатор инженерно-психологических исследований

При исследовании различных психических процессов в качестве количественного критерия, наряду с характеристикой времени реакции, часто используется характеристика точности. Точность работы оператора может явиться хорошим показателем степени согласованности технических звеньев с его психологическими возможностями. На основе точности действий оператора представляется возможным выявить некоторые психологические особенности его деятельности. Покажем это на примере проведенного нами исследования [31]

При изучении деятельности летчиков в реальных условиях полета было замечено, что на обзор отдельных пилотажных приборов они затрачивали очень малое время — порядка 0,3 — 0,5 сек — время, за которое трудно отсчитать показания прибора. Такой результат для условий полета, где летчик загружен выполнением разнообразных задач, где на него отрицательно действуют различные физические факторы, казался особенно странным. Представляло интерес выявить, является ли быстрое восприятие приборной информации в полете следствием тренированности летчиков или же оно дости-

гается благодаря какому-то специальному методу отсчетов.

Решение этой задачи мы осуществляли посредством эксперимента. В его основу была положена следующая предпосылка. Если быстрый отсчет показаний приборов обусловлен тренировкой, то летчики и на земле смогут за это же время с необходимой степенью точности отсчитывать показания этих приборов. Для проверки этого предположения была изготовлена установка, позволяющая тахистоскопически на время от 0,15 сек и более /с приращением экспозиции через 0,1 сек/ предъявлять летчикам для отсчетов различные пилотажные приборы. В эксперименте использовались реальные пилотажные приборы: указатель скорости /УС/ указатель курса /УК/, указатель высоты /УВ/ и прибор, измеряющий скороподъемность – вариометр /ВАР/. Внешний вид этих приборов дан на фиг. 23. К экспериментам привлекались 30 летчиков, имеющих опыт полетов с указанными приборами не менее двух лет. Летчику демонстрировалась работа установки и давалась инструкция за время экспозиции прибора по возможности точно отсчитать его показания.

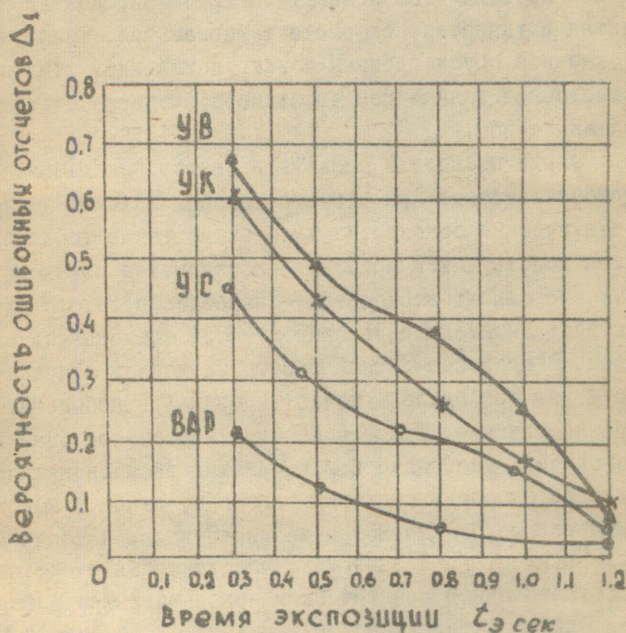


Фиг. 23. Внешний вид пилотажных приборов, использованных в экспериментах по оценке точности отсчетов.

Из ранее проведенных исследований [28] было известно, в 95-98% отсчетов исследуемых приборов, летчики

не допускали погрешности более одного деления шкалы /при отсутствии ограничений во времени/. Поэтому результаты, превышающие эти погрешности, расценивались как ошибочные. Среди отсчетов выделялись грубые ошибки - когда погрешность превышала три деления шкалы.

Полученные результаты представлены на фиг. 24, где для четырех исследуемых пилотажных приборов построены характеристики  $\Delta_1(t_3)$  изменения относительного числа ошибочных отсчетов ( $\Delta_1$ ) с ростом времени экспозиции  $t_3$  прибора.



Фиг. 24. Изменение вероятности ошибочных отсчетов приборов УВ, УК, УС и ВАР в зависимости от времени экспозиции.

На основе этих характеристик можно сделать ряд заключений. Для надежных отсчетов показаний исследуемых при-

боров летчики затрачивают время более одной секунды /исключение может составить только вариометр/. Летная классификация и опыт работы не отразились на точности отсчетов. Следовательно быстрые отсчеты показаний приборов в воздухе обусловлены не тренировкой.

Другой вывод, который следовал из описанных опытов свидетельствовал о возможности по точности отсчетов отдельных приборов оценивать степень их согласования с возможностями летчиков. Как следует из фиг. 24, форма представления информации, принятая в указателе высоты и указателе курса, хуже согласуется с возможностями летчиков, нежели форма, принятая в указателе скорости и вариометре. Такой результат оказался обусловленным конструкцией шкал этих приборов: двустрелочной индикацией высотомера, подвижностью шкалы указателя курса.

Опыты позволили сделать и третье заключение - выявить на приборах точки, при отсчете которых летчики допускали систематические ошибки. На высотомере такие точки были обусловлены конструкцией прибора - перекрытием стрелок. Систематические ошибки вариометра - наиболее простого для отсчетов прибора - имели иную природу. Они объяснялись следующим образом. В процессе летной работы на данном этапе самолета от летчиков требовалось точно выдерживать небольшие скорости набора и снижения. Такие показания вариометра они отсчитывали довольно точно, даже при небольших экспозициях прибора. Большие же скорости снижения и набора, как и в полете, они отсчитывали грубо /несмотря на инструкцию, которая давалась при эксперименте/. В данном случае точность отсчетов оказалась обусловленной практическим использованием информации.

Однако остался нерешенным вопрос: за счет чего же летчики в полете так быстро отсчитывают показания приборов? Ответ на него мы искали в анализе деятельности летчика при выдерживании заданного режима полета. В указанных условиях летчику известны параметры режима полета, которые должны выдерживаться. На появление отклонений этих параметров от нормы, летчик реагирует перемещением органов управления.

Иными словами, появление отклонения стрелки от заданного режима, появление разницы - "вилки" между заданным и фактическим значением, является для летчика сигналом к управляющим действиям.

Это предположение подтверждается командами, которые применяют летчики. Так при выходе на цель, когда требуется дорожить каждой секундой, летчики указывают углы поворота не абсолютными значениями, а отклонениями: "вправо 5" или "влево 3" /имеется в виду градусы угла доворота/.

Отсюда следует предположение, что при выдерживании заданного режима полета летчики отсчитывают на шкалах приборов не абсолютные значения параметров, а "вилки", и за счет этого быстро воспринимают необходимую для пилотирования самолета приборную информацию.

Для проверки указанного положения был проведен второй эксперимент, который отличался от предыдущего тем, что предварительно задавался определенный режим полета и летчикам следовало отсчитывать "вилки" между заданным и фактическим значением параметра.

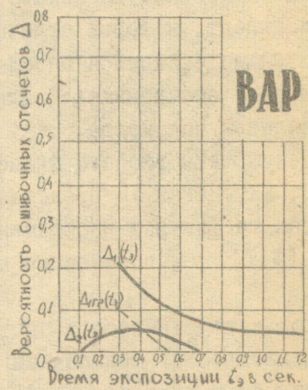
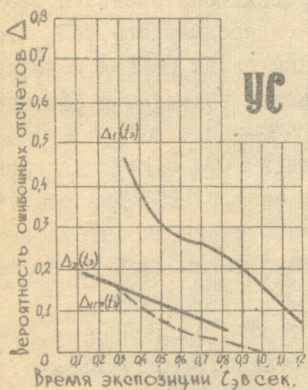
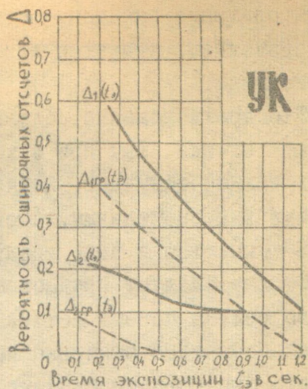
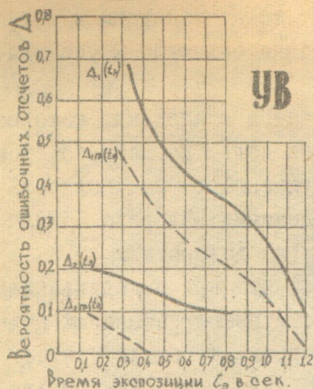
Результаты второго эксперимента  $\Delta_2(t_2)$  для приборов УС, УК, ВАР и УВ представлены на фиг. 25. Для сравнения на тех же фигурах изображены аналогичные характеристики  $\Delta_1(t_1)$ , полученные по результатам первого эксперимента.

Точность отсчетов в опытах второго эксперимента существенно возросла. Как показывает статистический анализ, между точностью отсчетов опытов первого и второго экспериментов существует статистически достоверное различие при доверительной вероятности  $\beta=0,9$ .

Результаты опытов подтверждают предположение, что отсчет "вилки" обеспечивает быстрое восприятие приборной информации.

Таким образом, на основе данных о точности отсчетов представляется возможным выявлять особенности восприятия информации и способы деятельности оператора.

Во втором эксперименте летчикам задавался режим по-



Фиг. 25. Характеристики вероятности ошибочных отсчетов абсолютных значений параметров  $\Delta t_1(t_3)$  и "вилки"  $\Delta t_2(t_3)$ .  $\Delta_{1гр}(t_3)$  и  $\Delta_{2гр}(t_3)$  - вероятности грубых ошибок, допущенных при отсчетах соответственно абсолютных значений и "вилки".

лета и можно было предположить, что их деятельность при отсчетах приборов будет связана с оперативным мышлением. Каждое новое сообщение прибора летчик мог логически увязать с оперативным образом положения и состоянии самолета, существующим в его представлении. Интересно было выяснить, в какой степени деятельность с оперативным образом отражается на точности отсчетов.

Для решения этой задачи был поставлен третий эксперимент. Его отличие от предшествующего эксперимента заключалось в задаваемых параметрах режима полета. Если ранее задавался один из многих возможных режимов, то в этом эксперименте задавалось два крайних типа режимов: наиболее часто встречающийся и практически невозможный для данного типа самолета /показания приборов не выходили за пределы рабочего диапазона, но были в таких сочетаниях, какие не могут быть на рассматриваемом типе самолета/. При таком несуразном режиме полета между показаниями приборов отсутствовала логическая связь и летчики могли отсчитывать их только механически.

Результаты эксперимента оказались следующими: ошибки отсчетов в опытах второй серии были выше, чем в опытах первой серии примерно на 40%. Причем между результатами опытов существовало статистически достоверное различие /при  $\beta=0,9$ /. Сравнивая же всю совокупность опытов второго эксперимента с опытами по отсчету несуразных значений параметров, получаем, что при механических отсчетах не связанных между собой показаний, летчики допускают ошибки примерно на 25% больше.

Из последнего эксперимента следует, что работа оператора с оперативным образом /оперативное мышление/ способствует повышению точности работы оператора.

Итак, мы показали на конкретном примере возможность использования характеристик точности, частоты ошибок в качестве индикатора, при исследовании процессов восприятия информации. Во II главе рассматривались возможности использования характеристик времени реакции в качестве индикатора

в подобных исследованиях. Естественно может возникнуть вопрос: тождественны ли результаты, полученные с помощью этих двух индикаторов?

Исследованием этого вопроса занимался К.В.Бардин [1]. Он показал, что, вопреки существующему мнению, между этими индикаторами имеются различия, которые состоят в следующем.

Время реакции — более чувствительный индикатор и с его помощью удается обнаружить наступающие затруднения в приеме сигналов задолго до того, как эти затруднения начинают сказываться на правильности действий испытуемого. Зато этот более чувствительный индикатор раньше выходит из строя и может начать давать неадекватные показания при увеличении трудности в приеме сигналов.

Уровень ошибок — индикатор менее чувствительный. Он обнаруживает начавшиеся затруднения испытуемого в приеме сигналов с некоторым опозданием. Зато он надежно действует при слабых сигналах, то есть именно там, где время реакции уже не является надежным индикатором.

Исходя из этих данных, К.В.Бардин пришел к заключению, что время реакции более подходит для работы в области таких сигналов, которые по величине близки к оперативному порогу. Характеристики точности более применимы для оценки сигналов, близких к психофизиологическому порогу, то есть для сигналов, восприятие которых ограничено предельными возможностями сенсорной системы. Поэтому автор считает вполне оправданным использование индикатора точности в исследованиях посвященных изучению принципов, лежащих в основе работы сенсорной системы.

Автор считает, что объединение результатов, полученных с помощью этих двух индикаторов, в один показатель может быть целесообразно только в работах прикладного характера. В работах же, связанных с психофизическими исследованиями, такое объединение он считает мало оправданным.

## У. НАДЕЖНОСТЬ ОПЕРАТОРА И СИСТЕМЫ "ЧЕЛОВЕК-МАШИНА"

Проблема надежности всегда была важной в техническом прогрессе, а в настоящее время, как отметил акад. А.И.Берг проблема надежности стала "проблемой № I".

Как бы совершенна ни была система, какие бы сложные задачи она ни решала, но если эта система не надежна, т.е. часто выходит из строя, эффективность ее практического применения оказывается низкой. Причем выход из строя системы влечет за собой не только ее простой и связанные с этим потери экономического порядка, он нарушает ритм, организацию действия всего комплекса систем, отрицательно сказывается на психическом состоянии взаимодействующих с ними людей, а в отдельных системах /таких, например, как самолет/ угрожает их жизни.

Надежность действия системы "человек-машина" обусловлена надежностью работы как технических звеньев, так и оператора.

Для оценки надежности технических звеньев существует вполне конкретный технический параметр - надежность. А как оценить с этой точки зрения деятельность оператора?

Иногда термин "надежность" по отношению к человеку пытаются заменить термином "обученность". Однако опыт показывает, что функции надежности и обученности далеко не одинаковы. Так бывают случаи, когда человек, быстро и успешно овладевший в обучении необходимыми знаниями и навыками, как бы теряет способность применять их в некоторых реально возникающих ситуациях или совершает ошибки, которые нельзя объяснить недостаточной обученностью.

Порой некоторые характеристики индивидуальных способностей человека по действиям в экстремальных условиях выдвигаются в качестве меры его надежности. Однако эти частные

характеристики не отвечают широкому понятию, которое вкладывается в этот термин.

Поэтому следуя общей тенденции инженерной психологии — стремлению описать деятельность человека теми же характеристиками, которые используются для описания работы технических звеньев, применим и к человеку термин "надежность" в том смысле, в каком он используется в технике.

Анализируя надежность человека-оператора, — пишет Б.Ф. Ломов [34] — важно было бы изучить виды допускаемых им отказов, частоты их возникновения в разные периоды работы, интервалы между отказами, причины отказов, соотношения между надежностью и эффективностью /производительностью/ и т.д. В этой связи целесообразно рассмотреть возможности использования принципов и математического аппарата, разработанных в теории надежности, для анализа деятельности человека-оператора в системах контроля и управления".

Следует отметить, что применение технических терминов для оценки психической деятельности человека вполне допустимо. В наше время взаимное проникновение терминов из одной области знания в другую стало обычным явлением: так проникли в психологию технические термины "передаточная функция", "пропускная способность", а в технику "тренировки" /применительно к деталям, перед их установкой в схему/ или "старение" /по отношению к материалу/. Однако, применяя технические термины к человеку, никогда не следует забывать, что человек не механизм и полностью описать его привычными техническими терминами невозможно.

Кратко остановимся на основных понятиях и соотношениях, используемых в теории надежности.

### I. Надежность технических звеньев

Для оценки надежности технических устройств или их элементов используются как качественное определение, так и количественные показатели [15] [71] .

Надежностью называется свойство технических устройств или их элементов выполнять все заданные функции в течение

определенного интервала времени в тех или иных условиях эксплуатации. Такова качественная характеристика надежности.

Количественно надежность выражается вероятностью безотказной работы устройства за определенный промежуток времени  $p(t)$ . Математически этот показатель можно определить как вероятность того, что время  $T$  безотказной работы устройства, являющееся случайной величиной, будет больше некоторого заданного времени  $t$ :

$$p(t) = P(T > t). \quad /5.1/$$

Вероятность отказа  $q(t)$ , т.е. события противоположного событию безотказной работы, определяется:

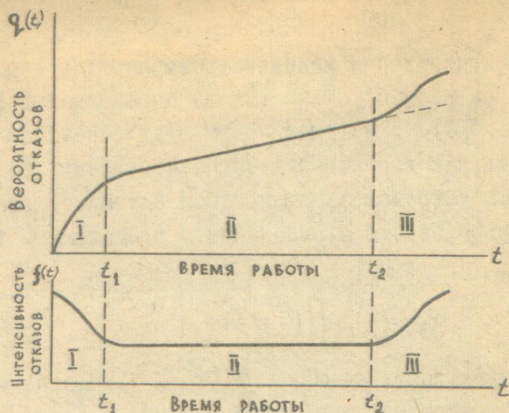
$$q(t) = 1 - p(t). \quad /5.2/$$

Вполне очевидно, что с увеличением времени работы устройства вероятность его отказа непрерывно возрастает, т.е. при любом  $t_2 > t_1$ :

$$q(t_2) > q(t_1),$$

поэтому считаем, что  $q(t)$  — неубывающая функция времени. Очевидно при  $t=0$  вероятность отказа системы  $q(t)=0$ , а при  $t=\infty$   $q(t)$  стремится к единице, т.е. вероятность отказа становится достоверным событием. Интересно определить как изменяется функция  $q(t)$  с течением времени при изменении  $t$  в пределах  $0 < t < \infty$ . Это можно решить практически. Сразу после выпуска из производства включить одновременно в эксплуатацию  $N_0$  устройств и с течением времени фиксировать вероятность их отказов. Такие опыты неоднократно проделывались и результаты их оказались следующие /фиг. 26/. В первый период эксплуатации быстро растет вероятность отказов — сказываются недостатки производства, невыявленные при выпуске продукции. В этот период идет приработка устройств. Он обычно продолжается от де-

СЯТКОВ ДО СОТЕН ЧАСОВ.



Фиг. 26. Зависимость вероятности отказов технических устройств  $q(t)$  и интенсивности отказов  $f(t)$  от времени эксплуатации систем.

После окончания приработки /с момента  $t_1$  / рост  $q(t)$  как-то стабилизируется. Кривая  $q(t)$  несколько возрастает, так как по мере отказов отдельных устройств убывает число устройств, оставшихся в эксплуатации, поэтому вероятность их отказов увеличивается. Этот наиболее длительный период продолжается сотни и тысячи часов.

С момента  $t_2$  начинает сказываться износ деталей, старение материала и вероятность отказов уже растет значительно быстрее, что во втором периоде. Для практики важно выявить наступление третьего периода, чтобы начать замену устройств на новые.

Кривая  $q(t)$  /фиг. 26/ характеризует вероятность безотказной работы системы и называется интегральным законом распределения.

Проинтегрировав функцию  $q(t)$ , можно получить плотность распределения времени безотказной работы /дифференциальный закон/:

$$\frac{dq(t)}{dt} = f(t), \quad /5.3/$$

где  $f(t)$  - функция интенсивности отказов.

Вероятность безотказной работы для любого момента времени эксплуатации  $t$  практически рассчитывается по статистическим данным:

$$p^* = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad /5.4/$$

где  $N_0$  - число контролируемых устройств,

$n(t)$  - число отказавших устройств к моменту  $t$ ,

$p^*(t)$  - вероятность безотказной работы устройств за время  $t$ , полученная по статистическим данным.

Формула /5.4/ позволяет давать оценки надежности устройств лишь после их испытания, т.е. апостериорно. Возникает вопрос: нельзя ли найти зависимость, по которой можно было бы заранее рассчитывать вероятность безотказной работы устройства за время  $t$ ? Такую приближенную зависимость можно вывести.

Определим интенсивность отказов как отношение числа отказавших устройств в единицу времени к среднему числу устройств, работающих в этот период безотказно:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_u(t) \Delta t}, \quad /5.5./$$

где  $\lambda(t)$  - интенсивность отказов,

$\Delta n(t)$  - число устройств, отказавших за время  $\Delta t$ ,

$N_u(t)$  - число устройств, проработавших время  $\Delta t$ .

Очевидно, за период приращения времени  $dt$  приращение числа отказавших устройств будет  $dn$  и интенсивность отказов определится:

$$\lambda(t) = \frac{dn}{N_u(t) dt}. \quad /5.6/$$

За время  $\Delta t$  из имеющихся  $N_0$  устройств из

стройка выйдет в среднем  $\Delta n$  устройств. Умножив число действующих устройств /  $N_0$  / на приращение вероятности их отказов, можно определить количество отказавших за это время устройств:

$$N_0 [q(t+\Delta t) - q(t)] = \Delta n.$$

Умножим и поделим это выражение на  $\Delta t$  и возьмем предел при  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$N_0 \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{q(t+\Delta t) - q(t)}{\Delta t} = N_0 q'(t) dt = dn. \quad /5.7/$$

Чтобы найти число устройств, которое останется исправным к моменту  $t$ , нужно умножить  $N_0$  на вероятность безотказной работы:

$$N_u(t) = N_0 p(t). \quad /5.8/$$

Подставив в формулу /5.6/ значения  $dn$  из /5.7/ и  $N_u(t)$  из /5.8/, получим:

$$\lambda(t) = \frac{N_0 q'(t) dt}{dt N_0 p(t)} = \frac{q'(t)}{p(t)} \quad /5.9/$$

Согласно /5.2/:

$$q'(t) = -p'(t). \quad /5.10/$$

Подставляя значение  $q'(t)$  из /5.10/ в /5.9/, получаем:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{p(t)} \frac{dp(t)}{dt}. \quad /5.11/$$

Изменим в последней формуле /5.11/ переменную на  $\tau$ . Тогда получим:

$$\lambda(\tau) d\tau = -\frac{dp(\tau)}{d\tau}. \quad /5.12/$$

Проинтегрируем /5.12/ в пределах  $[0, t]$ :

$$\int_0^t \lambda(\tau) d\tau = -\int_0^t \frac{dp(\tau)}{p(\tau)} = -\ln p(t).$$

В соответствии с определением логарифма, последнее равенство можно записать в виде:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \quad /5.13/$$

Полученная формула /5.13/ называется общим законом надежности, который применяется для подсчетов надежности во многих практических случаях. Как следует из формулы /5.13/ характер изменения вероятности безотказной работы устройства по времени зависит только от характера изменения во времени интенсивности отказов.

Для многих практических случаев, в частности для второго периода интегрального распределения /фиг.26/, можно считать, что интенсивность отказов устройств остается во время эксплуатации неизменной:

$$\lambda(\tau) = \text{Const}.$$

В этой случае формула /5.13/ приобретает вид:

$$p(t) = e^{-\lambda t} \quad /5.14/$$

Данная закономерность /5.14/ получила название экспоненциального закона надежности. Зная значение интенсивности отказов устройств в данных условиях эксплуатации /  $\lambda$  /, с помощью этого закона можно непосредственно подсчитывать вероятность безотказной работы устройства за тот или иной период времени.

Приведем пример. Пусть в рассматриваемых системах средняя интенсивность отказов  $\lambda = 8 \cdot 10^{-4}$ . Определим вероятность безотказной работы такой системы за 50 часов:

$$p(t) = e^{-8 \cdot 10^{-4} \cdot 50} = 0,96.$$

Если в системе действует  $n$  элементов, а вероятность их безотказной работы  $p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)$  и отказы одного элемента не сказываются на работе другого, общая вероятность безотказной работы системы /  $P_S(t)$  / опреде-

лится произведением:

$$P_s(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \dots p_n(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = e^{-t(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)} \quad /5.15/$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  - интенсивности отказов соответственно 1, 2, ..., n элементов.

Экспоненциальный закон надежности имеет один существенный недостаток. Вероятность безотказной работы устройства за промежуток  $\Delta t$ : от  $t_0$  до  $t = t_0 + \Delta t$  согласно формуле /5.14/ будет:

$$p(t_0 + \Delta t) = e^{-\lambda(t_0 + \Delta t)} = e^{-\lambda t_0} \cdot e^{-\lambda \Delta t} = p(t_0) p(\Delta t). \quad /5.16/$$

С другой стороны, согласно теореме умножения вероятностей, получаем:

$$p(t_0 + \Delta t) = p(t_0) p\left(\frac{\Delta t}{t_0}\right). \quad /5.17/$$

Сравнивая соотношения /5.16/ и /5.17/, получаем:

$$p(\Delta t) = p\left(\frac{\Delta t}{t_0}\right).$$

Таким образом, условная вероятность - вероятность безотказной работы системы за  $\Delta t$ , при условии, что система ранее уже проработала время  $t_0$ , оказалась равной безусловной вероятности безотказной работы системы за время  $\Delta t$ . Иначе говоря, при экспоненциальном законе предполагается, что вероятность безотказной работы за данный промежуток времени не зависит от того, сколько времени до этого работало устройство. Вероятность отказа устройства до момента  $t_0$  и после него зависит только от случайных факторов, определяемых характеристикой  $\lambda$ .

Однако, несмотря на этот очевидный недостаток, экспоненциальный закон широко применяется на практике, так как он пока наилучшим образом описывает вероятность внезапных случайных отказов.

Практически у реального технического устройства, наряду со случайными отказами происходят отказы и за счет постепенного износа – необратимых физико-химических изменений значений параметров. Вероятность безотказной работы устройства в связи с износом иногда описывается нормальным законом. Таким образом в устройстве может произойти внезапный отказ, но так как в устройстве идет непрерывный износ, то возможен и постепенный отказ /если до этого уже не произошел внезапный/. С этой точки зрения техническое устройство можно рассматривать как бы состоящим из двух частей: в одной из которых может произойти только внезапный отказ с вероятностью  $q_1(t)$ , а в другой – постепенный с вероятностью  $q_2(t)$ . Если указанные вероятности независимы, то надежность устройства  $P(t)$  определится:

$$P(t) = [1 - q_1(t)] \cdot [1 - q_2(t)], \quad /5.18/$$

где  $q_1(t)$  – описывается экспоненциальным законом, а  $q_2(t)$  – нормальным.

Кроме характеристики вероятности безотказной работы, надежность технических устройств определяют некоторыми частными коэффициентами [71].

$K_r$  – коэффициент готовности /исправности/ устройства определяется отношением среднего времени его исправной работы к общему времени исправной работы и простоя, взятых за один и тот же период:

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_n}, \quad /5.19/$$

где  $T_o$  – время безотказной работы устройства за рассматриваемый период,  
 $T_n$  – среднее время вынужденного простоя за тот же период,

$K_3$  – коэффициент учета условий эксплуатации – отношение интенсивности отказов /  $\lambda$  / в реальных условиях к интенсивности отказов

/  $\lambda_A$  / этих же устройств в лабораторных условиях:

$$K_3 = \frac{\lambda}{\lambda_A} . \quad /5.20/$$

$K_u$  - коэффициент эффективности использования, под которым понимается отношение времени эффективного использования устройства /  $\sum t_3$  / к общему времени его работы /определяется суммой времени эффективной и неэффективной /  $\sum t_{нэ}$  / работы/.

$$K_u = \frac{\sum t_3}{\sum t_3 + \sum t_{нэ}} . \quad /5.21/$$

Задача теории надежности заключается не только в разработке методов оценок надежности технических устройств, но и в изыскании способов повышения их надежности.

Современные сложные технические устройства состоят из большого числа элементов. Согласно /5.16/ с увеличением числа последовательных элементов общая надежность системы падает. Поэтому основным способом сохранения высокой надежности сложных систем является повышение надежности их элементов. Однако увеличение надежности элементов часто ограничивают технические возможности. Поэтому вопрос решают иным путем, изыскивают такие схемы соединения элементов, при которых обеспечивается высокая надежность устройств при ограниченной надежности его элементов. Создание таких схем возможно. Если бы усложнение систем всегда приводило к понижению их надежности, то, как заметил акад. А.И.Берг, люди должны были бы мечтать о возвращении к орудиям каменного века. Повышению надежности устройств способствуют схемы резервирования.

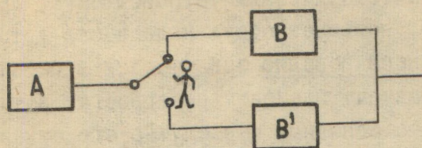
Предположим, устройство состоит из двух последовательных элементов А и В, которые могут выходить из строя независимо один от другого. Надежность элемента А высокая  $P_A = 0,99$ , а элемента В - низкая  $P_B = 0,8$ . В таком случае общая надежность устройства получается:

$$P = P_A \cdot P_B = 0,792 .$$

Для повышения надежности устройства осуществим резервирование ненадежного элемента В.

Существуют различные варианты резервирования: ручное, холодное /автоматическое/ и горячее.

Ручное резервирование выполняет оператор /фиг.27/.



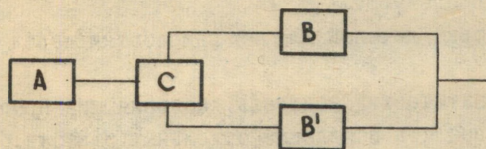
Фиг. 27. Ручное резервирование.

При отказе элемента В он вручную переключает устройство с неисправного элемента В на резервный элемент В<sup>I</sup>. Предположим  $P_{B'} = P_B = 0,8$ , надежность оператора  $P_o = 0,9$ . Будем считать, что отказы звеньев происходят независимо. Полная вероятность безотказной работы ( $P_p$ ) системы ручного резервирования определяется формулой полной вероятности как сумма вероятностей всех благоприятных исходов:

$$P_p = P_A \cdot [P_o P_B P_{B'} + P_o (1 - P_B) P_{B'} + P_o (1 - P_{B'}) P_B] \approx 0,855.$$

Благодаря ручному резервированию надежность устройства возросла от 0,792 до 0,855.

Холодное /автоматическое/ резервирование. В этой схеме функции оператора выполняет специально предусмотренный для этого элемент С /фиг. 28/.



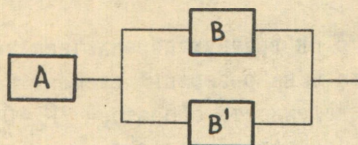
Фиг. 28. Автоматическое /"холодное"/ резервирование.

Предположим  $P_c = 0,99$ . Полная вероятность безотказной работы ( $P_x$ ) устройства, действующего по данной схеме, определится по формуле:

$$P_x = P_A [P_c \cdot P_B \cdot P_{B'} + P_c(1-P_B)P_{B'} + P_c(1-P_{B'})] \approx 0,94.$$

Замена оператора автоматическим устройством С, действующим более надежно, повышает общую надежность устройства.

Горячее резервирование заключается в параллельном подключении к основному элементу резервного, который работает одновременно с основным и в случае его отказа, выполняет функции основного элемента /фиг. 29/.



Фиг. 29. "Горячее" резервирование.

Полная вероятность безотказной работы ( $P_r$ ) устройства, действующего по такой схеме, будет:

$$P_r = P_A [P_B P_{B'} + P_B(1-P_{B'}) + P_{B'}(1-P_B)] \approx 0,95.$$

При данной схеме надежность устройства оказалась наибольшей. Однако такая схема менее выгодна с точки зрения экономии технического ресурса, в ней одновременно расходуется ресурс элементов В и В<sup>I</sup>.

Среди других путей повышения надежности устройств следует отметить следующие:

- тренировка деталей для их приработки перед постановкой в схему,
- профилактический контроль, позволяющий прогнозировать и предотвращать появление отдельных отказов,
- рациональное профилактическое обслуживание техники.

## 2. О применении некоторых характеристик теории надежности к оценке деятельности оператора

Признавая существенное различие между работой человека и технического устройства, рассмотрим возможности использования некоторых характеристик теории надежности к оценке деятельности оператора. Для решения этой задачи приходится рассматривать человека не вообще, а только в аспекте его деятельности в системе управления.

Человек подтвержден случайностям, причем даже в большей степени, чем машина. Поэтому к нему применим общий метод подхода, принятый в теории надежности.

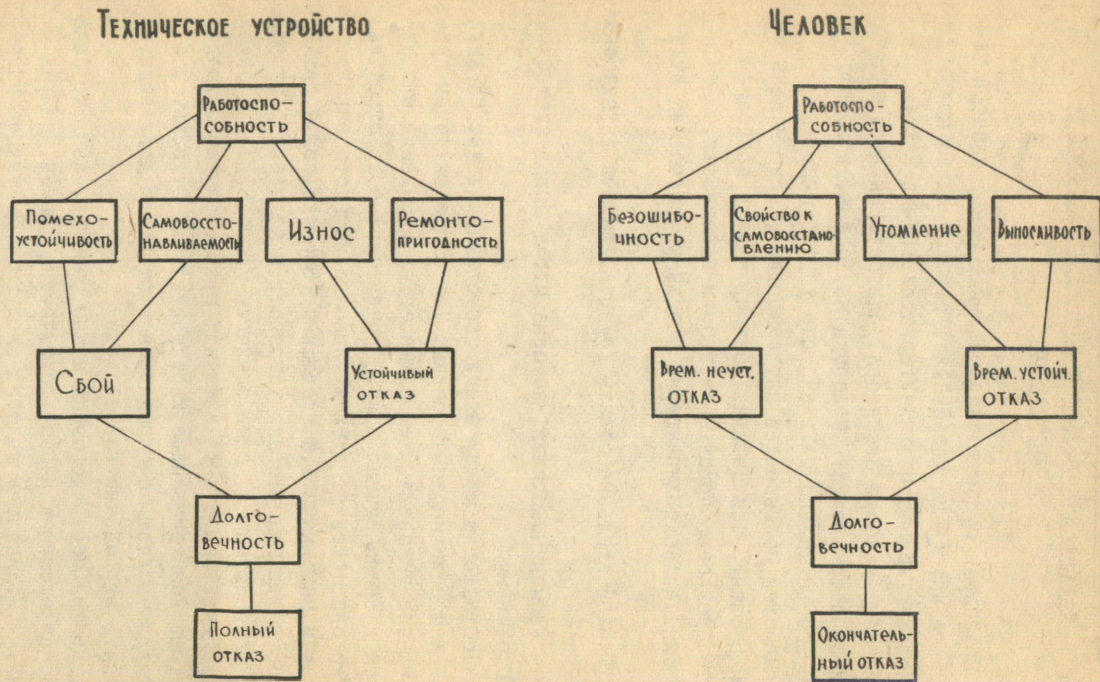
Для человека характерны различные состояния отказов:

- окончательные отказы /смерть, потеря технической квалификации/,
- временные отказы, которые могут быть неустойчивыми и устойчивыми.

Соотношение между этими состояниями может служить показателем надежности человека. Чем более случайны причины отказов человека, тем ближе закон изменения его надежности к экспоненциальному. Причем сложность строения человека способствует лучшему выполнению этого закона.

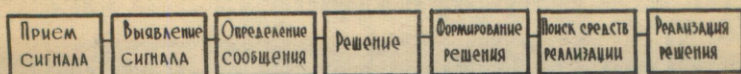
А.М.Половко и А.И.Губинский [58], сравнивая свойства и состояния технических устройств и человека с помощью схемы, проводят между ними аналогию /фиг. 30/. Для описания отдельных свойств технических звеньев имеются вполне конкретные количественные характеристики. Существующая аналогия позволяет, с определенной степенью допущения, переносить эти оценки на человека.

Деятельность человека можно разбить, как это делается по отношению к работе технических систем, на ряд функций. В.И.Николаев выделил следующие 7 функций оператора: прием сигнала, выявление сигнала, определение сооб-



Фиг. 30. Схема сравнения свойств и состояний технических устройств и человека (по А.М.Половко и А.И.Губинскому).

шения, решение, формирование результата решения, поиск средств реализации, реализация решения /фиг. 31/.



Фиг. 31. Функции деятельности оператора в системе управления /по В.И.Николаеву/.

Каждую функцию можно исследовать отдельно. Для отдельных функций В.И.Николаев дает характеристики надежности [по 58] .

Оценивая общую надежность деятельности человека, нельзя использовать формулу /5.15/ и складывать в степени "e" значение  $\lambda$  разных функций, т.к. между этими функциями существует корреляция.

К оценке деятельности оператора, а также всей системы "человек-машина" можно успешно применить некоторые частные коэффициенты из теории надежности: коэффициенты готовности /5.19/ учета условий эксплуатации /5.20/, эффективности использования /5.21/.

Оценивая надежность оператора, важно определить, что считать событием его отказа. В прямом смысле это прекращение работы оператора, вследствие развития органического или функционального обратимого процесса в сенсорной, церебральной или моторной сфере человека /сон, потеря сознания, непереносимая боль, смерть, психическое расстройство/. Для нас рациональнее оценивать отказ оператора, как его действие, которое влечет за собой нарушение рабочего процесса и отклонение регулируемых параметров за допустимые пределы или нарушение норм, регламентирующих работу системы. Так деятельность шофера ограничена необходимостью выдерживать ряд параметров движения и режима работы двигателя. Отклонение любого из параметров за допустимые пределы, происшедшее по вине оператора, будем

квалифицировать как его отказ. Часто отказы оператора называют ошибками. Некоторые авторы /Линкольн/ делят ошибки оператора на активные и пассивные. К активным ошибкам они относят ошибки инструкции, опознавания, действия; к пассивным - ошибки памяти, внимания.

Деятельность оператора может быть определена общим количеством отказов /  $\Delta n$  /, допущенных в течение заданного времени. В таком случае оператора рассматривают как звено, которое после отказа восстанавливается.

Показателем надежности оператора является также среднее время безотказной работы /  $T_{\delta}$  /.

Если одновременно работает  $N$  операторов и оператор  $i$  за время  $\Delta t_i$  допустил  $\Delta n_i$  отказов, статистическая частота его отказов будет:

$$f_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i},$$

откуда:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta n_i}{f_i^*(t)}.$$

Среднее время безотказной работы всех операторов определится:

$$T_{\delta} = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta n_i}{f_i^*(t)N}. \quad /5.22/$$

Для деятельности оператора в системе управления характерна способность не только отказывать, и тем самым снижать надежность системы "человек-машина", но и, напротив, способствовать повышению общей надежности всей системы.

Р.М.Мансуров [по 34] на основе проведенных экспериментов пришел к заключению, что, поскольку оператор знаком с логикой управляемого процесса, с ходом его изменений, существует высокая вероятность своевременного обнаружения и устранения оператором случайных неисправностей технических звеньев.

Из опыта работы летчиков известно, что большинство отказов авиационной техники, возникающих в полете, они своевременно обнаруживают и находят способы действий, по-

зволяющие не допустить опасных последствий для полета.

Исходя из этих соображений мы предложили следующий метод оценки надежности системы "человек-машина" с учетом возможности оператора своевременно обнаруживать и парировать отказы отдельных технических звеньев.

Предположим в системе "человек-машина" действует  $n$  независимых технических звеньев. Вероятность выхода из строя системы  $(\bar{s}_i)$  из-за отказа звена  $i$  находится по формуле полной вероятности как сумма вероятностей, благоприятствующих этому событию:

$$\bar{s}_i = \bar{p}_i \bar{\tau}_i + \bar{p}_i \tau_i \bar{q}_i \quad /5.23/$$

где  $p_i$  - вероятность безотказной работы звена  $i$  за время  $t_0$  ;

$\bar{p}_i$  - вероятность отказа звена  $i$  за время  $t_0$  ;

$\tau_i$  - условная вероятность своевременного обнаружения оператором отказа звена  $i$  , в случае его возникновения ;

$\bar{\tau}_i$  - условная вероятность своевременного необнаружения оператором отказа звена  $i$  , в случае его возникновения ;

$q_i$  - условная вероятность своевременного неустранения оператором отказа звена  $i$  , в случае его возникновения и своевременного обнаружения.

Выражение /5.23/ справедливо при условии независимости вероятностей  $\bar{p}_i, \bar{\tau}_i, \bar{q}_i$  . Обратное событие - вероятность безотказной работы системы в зависимости от действия звена  $i$  будет:

$$s_i = 1 - (\bar{p}_i \bar{\tau}_i + \bar{p}_i \tau_i \bar{q}_i). \quad /5.24/$$

Предположим, в рассматриваемой системе оператор способен парировать отказы, возникающие в  $K$  звеньях. В этом случае общая надежность системы /  $S$  /, с учетом надежности оператора /  $p_0$  /, определится:

$$S = p_0 \prod_{i=1}^k [1 - (\bar{p}_i \bar{z}_i + \bar{p}_i z_i \bar{q}_i)] \prod_{i=k+1}^n p_i. \quad /5.25/$$

Из формулы /5.25/ следует, что общая надежность системы оказывается обусловленной как надежностью ее отдельных звеньев, так и возможностями оператора по обнаружению и парированию их отказов в процессе управления.

В настоящее время повышение надежности системы "человек-машина" осуществляется в основном за счет увеличения вероятности безотказной работы технических звеньев и обеспечения более надежной работы оператора, т.е. используется только один путь повышения надежности. Но существует и другой путь - создание для оператора условий, способствующих обнаружению и парированию отказов как можно большего числа звеньев. Такой путь в ряде случаев оказывается более простым и экономически более выгодным.

Представляется возможным количественно оценить "удельный вес" оператора в обеспечении надежной работы системы "человек-машина". Это можно сделать посредством следующего соотношения:

$$d = \frac{S - \mathcal{P}}{\mathcal{P}} = \frac{\prod_{i=1}^k [1 - (\bar{p}_i \bar{z}_i + \bar{p}_i z_i \bar{q}_i)]}{\prod_{i=1}^k p_i} - 1, \quad /5.26/$$

где  $d$  - коэффициент, определяющий "удельный вес" оператора в обеспечении общей надежности системы,  
 $\mathcal{P}$  - общая надежность системы, включая оператора /  $p_0$  / , которая находится:

$$\mathcal{P} = p_0 \cdot p_1 \cdot p_2 \dots p_n = p_0 \prod_{i=1}^n p_i. \quad /5.27/$$

Если предположить, что оператор хорошо обучен и безусловно устраняет все парируемые отказы системы, т.е. во всех звеньях  $\bar{q}_i = 0$ , то выражение /5.26/ упрощается и принимает вид:

$$d = \frac{\prod_{i=1}^k [1 - \bar{p}_i \bar{z}_i]}{\prod_{i=1}^k [1 - p_i]} - 1. \quad /5.28/$$

Из /5.28/ следует, что в случае, когда оператор своевременно обнаруживает все парированные отказы //  $\bar{z} = 0$  /,  $d$  будет максимальным и равным:

$$d = \frac{1 - \prod_{i=1}^k p_i}{\prod_{i=1}^k p_i}.$$

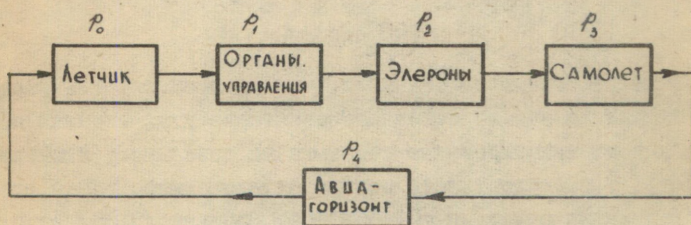
Напротив, если оператор не в состоянии компенсировать отказы системы /во всех  $k$  звеньях  $\bar{z} = 1$  /, то  $d = 0$ .

Последние рассуждения также применимы к соотношению /5.26/. Здесь роль оператора в повышении надежности системы учитывается выражением в круглых скобках, при этом коэффициент  $d$  будет изменяться в тех же пределах:

$$0 \leq d \leq \frac{1 - \prod_{i=1}^k p_i}{\prod_{i=1}^k p_i}.$$

Покажем на примере практическое использование формул /5.25/ и /5.26/. Оценим надежность системы ручного управления самолетом по крену.

Представим рассматриваемую систему в виде структурной схемы, состоящей из цепочки последовательных звеньев /фиг. 32/.



Фиг. 32. Структурная схема системы ручного управления самолетом по крену.

/Над каждым звеном указано значение его надежности:  $p_1, p_2, p_3$  и  $p_4$  /. Общая надежность системы, без учета возможности оператора устранять и парировать отказы отдельных звеньев, согласно /5.27/ будет:

$$P = p_0 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4$$

Так как органы управления, элероны, конструкция самолетов отказывают крайне редко, для расчета можно принять:

$p_1 = p_2 = p_3 = 1$  . Контрольные приборы обычно менее надежны. Условно примем для авиагоризонта  $p_4 = 0,8$ . Надежность летчика при пилотировании самолета по крену пусть будет  $p_0 = 0,999$ .

Согласно /5.29/ общая надежность системы получается  $P = 0,799$ , т.е. довольно низкой. Практически же, благодаря возможностям летчика своевременно обнаруживать отказы прибора и использовать резервные приборы, надежность системы получается значительно большей.

В гл. I были приведены результаты проведенных нами летных экспериментов по оценке возможностей летчиков обнаруживать неявные отказы авиагоризонта по каналу крена. Из этих результатов была определена условная вероятность своевременного обнаружения отказов авиагоризонта в случае их возникновения. Она получилась:  $\tau_0 = 0,308$ . Обратная величина - вероятность необнаружения таких отказов:  $\bar{\tau} = 0,692$ . Учитывая, что из всех отказов авиагоризонтов половина обычно бывает явных, т.е. вполне очевидных для летчика, получаем исправленное значение  $\bar{\tau}'_0$  :

$$\bar{\tau}'_0 = 0,5 \bar{\tau}_0 = 0,346$$

Летные эксперименты показали, что во всех случаях после обнаружения отказа основного авиагоризонта, летчики переходили на пилотирование самолета по резервному авиагоризонту, т.е. вероятность ненапарирования отказа после его обнаружения была:  $\bar{q} = 0$ . Согласно формуле /5.25/ находим общую надежность системы:

$$S_1 = 0,999(1 - 0,2 \cdot 0,346) = 0,928$$

Получаем, что благодаря деятельности человека в системе управления, надежность системы возросла от 0,799 до 0,928

Для еще большего повышения надежности работы рассматриваемой системы следует повысить надежность авиагори-

зонта. Однако практическое решение этого вопроса оказывается довольно сложным, т.к. исправная работа этого прибора обусловлена еще целым рядом других приборов — источниками питания, преобразователями.

Существует и другой путь повышения надежности системы. Более полно использовать способность летчика по обеспечению надежной работы системы: ввести специальную сигнализацию об отказе авиагоризонта, которая с высокой вероятностью оповещала бы летчика об отказе этого прибора.

Нужно отметить, что сам отказ контрольного прибора не нарушает работу системы. Ее нарушает оператор, управляющий системой по неисправному прибору. Своевременный сигнал об отказе прибора, мог бы в таком случае предотвратить выход из строя системы и повысить ее общую надежность.

Для подтверждения высказанного положения, приведем данные другого проведенного нами летного эксперимента. На том же типе самолета была установлена световая сигнализация об отказе авиагоризонта. Она включалась при появлении разницы в показаниях основного и резервного авиагоризонта более  $5^0$ , т.е. при отказе одного из этих приборов. Какой из авиагоризонтов отказал, должен был решить летчик на основе сравнения показаний авиагоризонтов и других резервных приборов. Действия летчика и параметры режима полета в процессе появления и обнаружения отказа, также как и в эксперименте, описанном в гл. I, фиксировались посредством киноаппарата.

Эксперименты показали, что, благодаря специальной сигнализации об отказе авиагоризонта, отказавший прибор был своевременно выявлен во всех опытах за время 1,5–7 сек. То есть вероятность своевременного обнаружения отказа прибора стала  $\tau = 1$ , а общая надежность системы, согласно /5.25/, возросла до величины  $S_{\text{II}} = 0,999$ .

Применим формулу /5.28 / для оценки "удельного веса" оператора в обеспечении надежности системы в двух рассматриваемых случаях: при отсутствии сигнализации об отказе

прибора /  $\alpha_I$  / и при наличии сигнализации /  $\alpha_{II}$  /:

$$\alpha_I = \frac{S_I - P}{P} = 0,16,$$

$$\alpha_{II} = \frac{S_{II} - P}{P} = 0,25.$$

Получаем, что введение дополнительной сигнализации об отказе прибора, т.е. создание условий, обеспечивающих высокую вероятность своевременного обнаружения оператором отказа прибора, может существенно повысить надежность системы: от  $S_I = 0,928$  до  $S_{II} = 0,999$ . Благодаря этой сигнализации "удельный вес" оператора в общей надежности системы возрос от 16 до 25%.

В заключение отметим ряд принципиальных отличий между человеком и техническим устройством, ограничивающих применение характеристик теории надежности к человеку.

1. В теории надежности принято допущение о независимости работы отдельных элементов устройства. Элементы же человеческого организма находятся в тесном взаимодействии, для них характерна взаимная компенсация функций.

2. Принято условие, что техническое устройство может находиться в двух дискретных состояниях: исправном или отказавшем. У человека же между этими крайними состояниями существует ряд переходных состояний, которые часто нельзя не учитывать. К тому же, как уже отмечалось, состояние отказа оператора имеет многозначную трактовку.

3. Для технических устройств принимаются допущения линейности действия звеньев - считают, что суммарная реакция системы на сумму сигналов равна сумме ее реакций на отдельные сигналы. Такие допущения при оценке деятельности человека обычно не применимы.

Все эти факторы свидетельствуют о том, что при анализе надежности оператора, кроме чисто количественных подсчетов, необходим глубокий качественный анализ его деятельности.

### 3. Качественные характеристики надежности оператора

В деятельности оператора различные психические и физиологические функции проявляются в динамическом взаимодействии. Поэтому характеристики надежности оператора можно определить только из анализа динамики всей его деятельности в рассматриваемых условиях. При этом нужно учитывать не только наличные способности оператора, но и его значительные потенциальные приспособительные возможности [3] [17].

В.Д.Небылицын [45] разделяет факторы, влияющие на надежность деятельности оператора в системе управления, на три основные группы:

1. Надежность оператора зависит от инженерно-психологического соответствия техники тем задачам, для выполнения которых она предназначена. Множество ошибок, допускаемых оператором, совершается из-за несогласованности техники с потребностями оператора, возникающими при выполнении задач управления.

2. Обученность, тренированность оператора существенно сказывается на надежности его работы. Способность же к обучению и тренировкам зависит от ряда факторов, которые будут указаны в третьей группе.

3. Факторы, обусловленные индивидуальными особенностями операторов, определяются общим состоянием здоровья оператора, состоянием его нервной системы, динамикой нервных процессов, а также характеристиками его психики.

Из опыта известно, что имеются группы людей, для которых характерна психологическая несовместимость с отдельными профессиями. По своим индивидуальным данным они являются потенциальными носителями аварий. Выявление таких людей при профессиональном отборе является одним из путей повышения надежности действия систем "человек-машина".

Рассмотрим отдельно ряд характеристик оператора,

определяющих надежность его работы.

а/ Работоспособность. В инженерной психологии больше изучен вопрос изменения работоспособности оператора, чем сама характеристика работоспособности. В процессе труда эта характеристика изменяется по фазам.

I фаза - вхождение в работу - характеризуется нарастающей работоспособностью. Здесь происходит функциональная перестройка и установление динамического стереотипа. Так как между дорабочим периодом и фазой работы существует "рассогласование", в этой фазе скорость, а иногда и точность действия оператора, оказываются низкими, оператор допускает ошибки.

II фаза определяется установлением относительно устойчивой работоспособности. Заканчивается установление стереотипа, деятельность оператора становится гармоничной, обеспечивающей оптимальную скорость и точность действия. Эта основная фаза работы. Ее продолжительность определяется характером работы и подготовкой оператора.

III фаза характерна снижением работоспособности, вызванным утомлением. Она проявляется в нарушении гармоничности действий, обусловленном изменением динамики нервных процессов. При этом возрастает латентный период времени реакции, снижается точность движений, ухудшаются сложные навыки, нарушается координация отдельных движений, снижаются сенсорные функции. В этой фазе появляются изменения в характеристиках биотоков мозга /уменьшается  $\alpha$ -ритм, растет  $\beta$ -ритм/.

Нужно отметить, что с утомлением не все психические функции изменяются в равной мере. Имеются данные /М.И.Виноградова [12]/ показывающие, что утомление проявляется в снижении функций, которые в данном виде деятельности являются активными, и в повышении некоторых неактивных функций. Этот факт показывает, что чередование различных видов деятельности /так называемый "активный отдых"/ способствует сохранению работоспособности оператора длительное время. Так, например, для сохранения длительной высокой работо-

способности космонавтов в программе их действий предусмотрено чередование различных видов деятельности.

Одним из способов поддержания длительное время высокой работоспособности системы является периодическая замена операторов. В этом смысле показательна работа диспетчеров, осуществляющих руководство движением. И.С.Кидд и Р.Г.Кинкейд исследовали вопрос сменности авиационных диспетчеров [по 34]. Авиационный диспетчер обязан постоянно представлять где находятся самолеты в своем воздушном районе с учетом их высот, скоростей, направлений полета. Контроль за самолетами диспетчер осуществляет по экрану радиолокатора, используя специальные панели, на которых он переставляет соответствующие фигурки с индексами самолетов. При наличии шести самолетов в районе аэродрома время вработываемости диспетчера было порядка 5 мин. Если каждый час в районе появлялся новый самолет, то оптимальная работа диспетчера продолжалась 3,5-4 часа. После этого времени следовало производить замену диспетчера. Такую замену целесообразно было осуществлять с некоторым перекрытием: перед началом работы новый диспетчер либо слушает в течение 10 мин переговоры действующего диспетчера, либо 6 мин слушает переговоры, а 4 мин параллельно руководит. При этом время вработываемости нового диспетчера снижается при первом варианте на 25%, а при втором - на 50%. В указанные 10 мин новый диспетчер уже в предрабочий период адаптируется к новому виду деятельности, вникает в те пути, способы решения задач, по которым шел предшественник, выбирает оптимальную позу.

Если сравнить характеристики изменения работоспособности и надежности со временем /фиг. 26/, легко заметить, что в той и другой есть три весьма сходные фазы.

б/ Эмоционально-волевой фактор оказывает значительное влияние на продуктивность и надежность работы оператора. Это было показано в исследованиях Е.А.Деревянко [20], который оценивал влияние данного фактора на взаимосвязь характеристик продуктивности и работоспособности. Он уста-

новил 7 периодов изменения работоспособности оператора по мере его утомления и выявил роль эмоционально-волевого фактора в поддержании заданной продуктивности. Исследование Е.А.Деревянко показывает, что человек может научиться сознательно управлять расходом своих "энергетических ресурсов", что он способен регулировать продуктивность своей деятельности. Следовательно, при подготовке операторов нужно формировать у них умение регулировать работоспособность в зависимости от требований, возникающих на тех или иных этапах работы.

Такая способность оператора может быть использована также для повышения надежности его работы. Из опыта Великой Отечественной войны известно много примеров, когда тяжело раненные летчики за счет огромных волевых усилий приводили самолеты на свой аэродром, известны случаи, когда в ответственные моменты за счет эмоционально-волевых факторов летчики совершали такое количество боевых вылетов, которое едва ли смогли бы совершить в обычных условиях. Если в этом смысле сравнивать оператора с техническим звеном, то его аналогом могло бы быть звено, способное к саморегулированию по надежности.

в/ Внимание является характеристикой надежности оператора. Было установлено, что в первой фазе вработываемости внимание рассеяно. Чтобы оператору сосредоточиться, требуется волевое напряжение. Во II фазе внимание оператора сосредоточивается на предмете деятельности без каких-либо специальных усилий. В III фазе вследствие утомления внимание становится неустойчивым, сокращается его объем. Однако внимание меняется не только в связи с изменением работоспособности или под влиянием внешних раздражителей. Известно, что вниманию присущи некоторые спонтанные колебания, флуктуации, обусловленные динамикой нервных процессов. Какой-либо закономерности в появлении этих явлений пока не выявлено. По данным Хмельяржа минимальное количество отвлечений в течение часа активной сосредоточенной работы равно 54 и их общая продолжительность I мин 5.5 сек.

Очевидно ошибки оператора, связанные с рассеянием внимания, являются случайными и могут быть описаны экспоненциальным законом.

г/ Переключаемость характеризует время вхождения оператора в новую деятельность. При переходе с одного вида деятельности на другой, оператор переключается на выполнение новой задачи. Такой переход может вызвать "ошибки переключения" - ошибки, связанные с переносом стереотипа решения предшествующего типа задач на последующий.

Примером "ошибки переключения" являются неправильные отсчеты летчиками показаний барометрического высотомера [31]. Пилотажные приборы в абсолютном большинстве однострелочные, высотомер же имеет две стрелки. При открытии большой и малой стрелок летчики иногда забывают, что высотомер двустрелочный прибор и отсчитывают его показания, используя стереотип отсчетов однострелочных приборов. Подобные ошибки чаще возникают в случаях, когда быстро меняются практические задачи.

Можно предполагать, что переключаемость обусловлена подвижностью нервных процессов, вызванных сменой одной функциональной структуры другой, и зависит от индивидуальных особенностей операторов.

д/ Долговременная выносливость также служит показателем надежности операторов. Мы уже отмечали, что при длительной работе оператора растет утомление в центральной нервной системе, рассеивается внимание. Указанные сдвиги в психической деятельности операторов зависят от характера выполняемой работы. Если работа однообразная, монотонная, эти сдвиги выражаются резче. Оператор, действующий в условиях длительного ожидания редких сигналов, на которые ему следует реагировать, сильно утомляется. Особенно эти функции усиливаются при работе в одиночестве. Так шоферы в длительных маршрутных поездках в условиях прямой дороги и однообразной местности часто засыпают за рулем. При монотонности и бедности внешних воздействий у человека развиваются явления, сходные с утомлением - увеличивается чис-

ло ошибочных действий, снижается эмоциональный тонус. Длительная "сенсорная изоляция" иногда вызывает дезорганизацию мозговых функций: нарушается ориентировка в пространстве, возникают иллюзии, галлюцинации.

Долговременная выносливость сильно зависит от индивидуальных особенностей нервной системы - выносливости ее к возбудительному и тормозному процессам. В.Д.Небылицын [45] считает, что долговременная выносливость является функцией силы нервной системы.

е/ Выносливость к перенапряжению определяет способность оператора правильно действовать в сложных аварийных ситуациях, возникающих в системе управления. В подобных условиях от оператора обычно требуется за короткий промежуток времени выполнить большой объем работ. При этом подвергается испытанию предельная пропускная способность информации у оператора.

Дж.С.Миллер [по 34] исследовал деятельность оператора в условиях, когда скорость изменения входной информации превосходит его пропускную способность.

Он обнаружил, что при этом возникают следующие эффекты перегрузки:

- пропуск сигналов,
- искажения отдельных сигналов, их ошибочное опознавание,
- задержки в ответном действии,
- фильтрация потока информации /реагирование только на определенные сигналы/,
- снижение полноты различения и опознавание сигналов /некоторые признаки не замечаются, многомерные сигналы воспринимаются как одномерные/,
- параллельные включения дополнительных каналов /привлечение новых анализаторов, более активное использование двигательных органов/,
- отказ от решения задач.

Дж.С.Миллер установил, что каждый из эффектов возрастает с увеличением скорости входной информации, однако рост

отдельных эффектов идет неравномерно. Он определил, что основным показателем перегрузки оператора является не рост ошибок, а потеря входной информации. Мобилизация резервов человека для преодоления возникших трудностей может продолжаться ограниченное время, после чего наступает срыв деятельности.

В условиях перенапряжения подвергаются проверке также способности оператора критически мыслить и принимать логически обоснованные решения, направленные на обеспечение стабилизации системы. Можно предполагать, что данная характеристика обусловлена силой нервной системы или уравновешенностью процессов возбуждения и торможения.

ж/ Продолжительность реакции на непредвиденные раздражители является показателем надежности работы оператора. Необычные, непредвиденные сигналы или ситуации вызывают концентрацию внимания оператора на источнике неожиданного воздействия и торможение к остальным сигналам. С точки зрения надежности представляет интерес длительность процесса торможения, так как при этом возрастает число ошибок оператора. Исследования показывают, что у лиц со слабой нервной системой этот период оказывается более продолжительным /его обычно оценивают по реакции депрессии  $\alpha$  - ритма/.

Отсюда следует, что для повышения надежности операторов нужно при обучении готовить их к восприятию различных сигналов и ситуаций, могущих возникнуть в процессе управления.

з/ Устойчивость к действию внешних факторов существенно сказывается на надежности оператора. Температура, давление, влажность, шум оказывают на оператора как физическое, так и психологическое воздействие. Степень воздействия этих факторов на надежность оператора зависит от его индивидуальной чувствительности к указанным раздражителям. Имеются данные, свидетельствующие о том, что лица со слабой нервной системой обладают большей чувствительностью к этим факторам, но они быстрее утомляются от восприятия

экстремальных воздействий [45]. Эти факторы приобретают особое значение в тех случаях, когда условия работы оператора сильно отличаются от привычных для человека нормальных условий. Велико их влияние на деятельность космонавтов, летчиков, подводников, поэтому эти факторы необходимо учитывать при оценке надежности операторов данных специальностей.

и/ Надежность в экстремальных условиях, как уже отмечалось, иногда используют в качестве общего показателя надежности операторов. В таких условиях, т.е. в предельных, крайних условиях деятельности особенно ярко проявляются индивидуальные качества операторов. Экстремальность условий создается как при выходе оптимальных значений параметров в сторону максимума, так и в сторону минимума.

Так, например, при сверхсильном шуме или полной сенсорной изоляции оператор находится в экстремальных условиях.

Стрессовые ситуации /стресс-напряжение/ воздействуют на различных людей по-разному. Особенно сильно при таких ситуациях меняются характеристики действий эмоционально-реактивных операторов.

Отсюда следует, что при профессиональном отборе операторов желательно выявлять индивидуальные характеристики в экстремальных условиях. Эти данные могут явиться как критерием при отборе, так и материалом для оценки надежности систем "человек-машина".

к/ Помехоустойчивость – одна из важнейших характеристик надежности оператора. С помехами в той или иной степени оператор встречается постоянно. Существуют внешние помехи – шумы, вибрации, усложнение условий работы и т.д. Имеется категория и внутренних помех. Так в ситуациях, требующих одновременного выполнения нескольких действий, одно действие может явиться внутренней помехой, тормозом другому. При этом чем ближе по содержанию параллельно выполняемые действия, тем больше возможности их взаимонарушающего влияния.

Под помехоустойчивостью оператора понимается его способность осуществлять активный выбор, производить тонкое различие, выполнять программу в условиях воздействия раздражителей, близких по характеру к заданным рабочим элементам.

Такая необходимость возникает у оператора, деятельность которого заключается в речевом общении, а ему мешают подобные же разговоры других операторов. Часто избыточная информация может явиться помехой в рассматриваемом смысле. Например, если летчику при заходе на посадку часто будут делать подсказки, давать корректирующие команды, все это будет восприниматься как мешающий фактор. Лектор, который читает лекцию без конспекта и подсматривает в текст, часто испытывает трудности от совмещения двух близких видов деятельности. Помехой может явиться дублирование сигналов, при котором возникает сдвиг по времени между сигналами /"эхо"/. Если дублирующий сигнал поступает в сенсорный вход до того, как завершается прием основного сигнала, он является помехой. К этому кругу явлений относится эффект Ли, возникающий тогда, когда человек слышит собственную речь с запаздыванием. В таком случае дублирующие слова нарушают временную структуру приема информации, поэтому из средства повышения надежности они превращаются в помехи.

Деятельность оператора по активному выбору в условиях помех исследовалась Ф.Д.Горбовым [16]. Испытуемым предъявлялась таблица из 49 черных и красных цифр, расположенных случайно. Они должны были непрерывно вести счет черных цифр в возрастающем порядке, а красных — в убывающем, чередуя действия и показывая на таблице то красную, то черную цифру. При этом состояние операторов записывалось на электроэнцефалограмму.

Эксперимент показал, что наибольшую трудность для оператора представляют отсчеты в средней части шкалы, где уменьшается разница между красными и черными цифрами. В этой зоне возрастает амплитуда биоэлектрической активности мозга, увеличивается время решения задач, растет число оши-

бок. К концу отсчетов биоэлектрическая активность и время отсчета снижаются, уменьшается число ошибок. Если в ходе эксперимента дополнительно вводятся речевые помехи, время на ответы удлиняется.

Испытуемые пытались отстраиваться от помех разными путями:

- повышением или понижением громкости собственного голоса /амплитудная отстройка/,
- протяжным произношением цифр, чтобы "закрыть" паузы /частотная отстройка/,
- изменением выражения, акцента слов /эмпатическая отстройка/.

Отдельные испытуемые в сложные моменты проявляли сильные переживания, другие действовали медленнее и спокойнее.

Данные экспериментов показали, что помехоустойчивость зависит от индивидуальных качеств испытуемых. Важен момент подсказки, так как подсказка, поступившая на ранних этапах формирования ответа, полезна, а поступившая после формирования ответа может сбить испытуемого, привести к "запиранию" его деятельности. Установлено, что у некоторых лиц с сильной нервной системой при выполнении интеллектуальных задач под действием помех укрепляются доминантные очаги, что ведет к повышению эффекта деятельности. У лиц со слабой нервной системой помехи существенно снижают продуктивность мыслительных процессов.

Повысить помехоустойчивость оператора можно путем специальных тренировок, обеспечивающих его адаптацию к помехам. Такие тренировки особенно актуальны для операторов, непрерывная деятельность которых осуществляется в условиях непрекращающегося поступления новой информации. В таких случаях сформировавшаяся схема предвидения особенно помехоранима.

#### 4. Об оценке вероятности появления отказов с определенными последствиями

Как было показано, количественные оценки теории надежности основываются только на фактах появления или непоявления отказов. От содержательной стороны отказов или связанных с ними последствий, теория надежности полностью абстрагируется. Благодаря такому допущению выводы теории надежности оказались применимыми для оценки любых технических устройств, а при некоторых условиях – даже для оценки отдельных сторон деятельности человека.

Однако во многих системах и особенно в системах "человек-машина" содержательная сторона отказа имеет большое, а иногда и решающее значение. Предположим, летчик доложил на командный пункт о том, что на самолете возник отказ. Такой доклад для руководителя полетов имеет настолько многозначное толкование, что фактически несет очень малую информацию. Это обусловлено тем, что основой для деятельности руководителя полетов является содержательная сторона отказа. Так, если произошел отказ в системе рулей управления самолетом, здесь требуются срочные, неотложные меры; если же на пассажирском самолете отказала кофеварка, такое событие не заслуживает внимания руководителя полетов.

Приведенный пример показывает, что содержательная сторона отказа имеет важное практическое значение для руководителя полетов. Она важна и при оценке надежности оператора и всей системы "человек-машина". Так, каждый возникающий на самолете отказ немедленно преломляется в сознании летчика с точки зрения влияния его на выполнение полета. Вся деятельность летчика по парированию и устранению отказа или принятию предусмотренных в таком случае мер оказывается обусловленной последствиями отказа и связанным с ним резервным временем.

Таким образом имеется необходимость количественно учитывать не только событие самого отказа, но и связанные

с ним последствия. Эту задачу мы решали следующим путем.

В каждой системе возможны разнообразные отказы, которые влекут за собой различные последствия. Однако среди всех возможных последствий отказов, возникающих в системе, можно выделить несколько определенных категорий последствий.

Предположим, в рассматриваемой системе из  $n$  звеньев все последствия возможных отказов подразделяются на  $K$  групп. Каждое звено системы характеризуется соответствующей вероятностью возникновения отказа:  $q_1, q_2, \dots, q_n$ . При нашей постановке задачи каждое звено, кроме того, можно еще характеризовать рядом условных вероятностей события, заключающегося в том, что при возникновении его отказа, наступят определенные последствия. Так, звено I может характеризоваться рядом условных вероятностей:

$$Q(A/q_1), Q(B/q_1), \dots, Q(K/q_1),$$

где  $Q(A/q_1)$  - условная вероятность появления последствия  $A$  при отказе I-го звена,  
 $Q(B/q_1)$  - условная вероятность появления последствия  $B$  при отказе I-го звена,  
 $Q(K/q_1)$  - условная вероятность появления последствия  $K$  при отказе I-го звена.

Аналогично для каждого звена можно записать  $K$  условных вероятностей появления различных последствий его отказов.

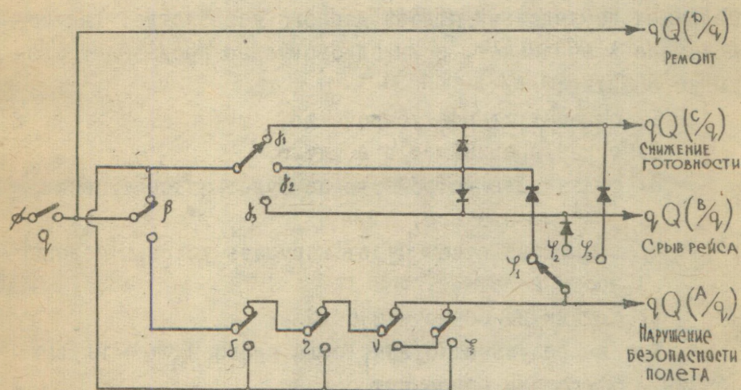
Таким образом можно оценить в какой степени каждое звено системы является потенциальным носителем определенной категории последствий. Так, например, для самолетов гражданской авиации можно выделить ряд возможных последствий отказов:

- A - нарушение безопасности полетов,
- B - срыв рейса,
- C - снижение готовности авиатехники,
- D - ремонт авиатехники.

Каждое самолетное устройство, как следует из данной классификации, можно оценить четырьмя вероятностями наступ-

ления указанных последствий.

В случае отказа самолетного устройства, появление того или иного последствия обусловлено рядом факторов: местом возникновения отказа /на земле или в воздухе/, его влиянием на параметры режима полета, наличием резервирования этого устройства. Мы уже отмечали, что большое значение в парировании последствий отказов имеет оператор. Следовательно, в рассматриваемом примере нужно еще учесть роль летчика. Данную задачу можно решить с помощью логической схемы [80] /фиг. 33/.



Фиг. 33. Логическая схема для оценки вероятности появления определенных последствий отказа авиационного устройства.

В этой схеме срабатывание каждого реле характеризуется вероятностью определенного события /на фиг. 33 они надписаны над реле/:

- $q$  - вероятность отказа данного устройства,
- $\beta$  - вероятность его отказа в воздухе,
- $\gamma$  - вероятность последствия  $\epsilon$  /  $\gamma_1$  / ,  $\beta$  и  $\epsilon$  /  $\gamma_2$  / и  $\beta$  /  $\gamma_3$  /
- $\delta$  - вероятность автоматического резервирования

устройства,

- $\eta$  - вероятность отказа, который нарушает режим полета,
- $\downarrow$  - вероятность своевременного обнаружения отказа летчиком,
- $\xi$  - вероятность парирования отказа после его обнаружения,
- $\psi$  - вероятность, при появлении последствия А, возникновения сопутствующих последствий С и В /  $\psi_1$  /, В /  $\psi_2$  / и С /  $\psi_3$  /.

На основе логической схемы /фиг. 33/ возможно составить формулы для определения вероятностей появления различных последствий отказа данного устройства. Так последствие А возникает, если одновременно произойдут следующие события:

- 1/ откажет данное устройство,
  - 2/ отказ произойдет в воздухе,
  - 3/ отказавшее устройство не будет автоматически резервироваться,
  - 4/ возникший отказ будет нарушать условия безопасности полета,
  - 5/ летчик не обнаружит отказа,
- Тот же результат будет, если произойдут 4 первых события и 5<sup>I</sup>/летчик обнаружит отказ,
- 6<sup>I</sup>/ летчик не парирует последствия отказа.

Появление перечисленных событий может быть представлено схематически /фиг. 33/. На клемму /она показана слева на схеме/ подано питание, оно попадет в цепь, обозначенную "Нарушение безопасности полета", при следующих условиях; сработают реле  $q$  и  $\beta$ , не сработают реле  $\delta$  и  $\eta$ , а затем будет выполнено одно из условий - не сработает реле  $\nu$  или сработает  $\nu$ , но не сработает реле  $\xi$ . Перечисленные события можно считать независимыми. Так как индексы, обозначающие реле, определяют вероятность их срабатывания, то вероятность наступления последствия А, равная произведению вероятности отказа устройства /  $q$  / и условной вероятности наступления последствия А /  $Q(q)$  / определится:

$$q Q\left(\frac{B}{q}\right) = \beta q (1-\delta)(1-\eta)[(1-\nu)+\nu(1-\xi)] \quad /5.30/$$

Аналогичным путем выводятся формулы для определения вероятностей появления последствий В, С и Д:

$$q Q\left(\frac{B}{q}\right) = q \left\{ (1-\beta)(\lambda_2 + \lambda_3) + \beta [(1-\delta)(1-\eta)(1-\nu) + (1-\delta)(1-\eta)\nu(1-\xi)] (\varphi_1 + \varphi_2) \right\}$$

$$q Q\left(\frac{C}{q}\right) = q \left\{ (1-\beta)(\lambda_2 + \lambda_4) + \beta [(1-\delta)(1-\eta)(1-\nu) + (1-\delta)(1-\eta)\nu(1-\xi)] (\varphi_1 + \varphi_3) \right\}$$

$$q Q\left(\frac{D}{q}\right) = q.$$

Необходимые для расчета по формулам /5.30/ вероятности могут быть определены на основе статистических данных. Так, вероятность  $\beta$  находится из статистики появления отказов устройства на земле и в воздухе,  $\delta$  - по надежности работы системы резервирования и т.д.

Формулы /5.30/ позволяют также анализировать причины, обуславливающие вероятность появления отдельных последствий. Так, например, если отказы устройства имеют высокую вероятность опасных последствий /в нашем примере - последствий А/, то из схемы /фиг. 33/ и формул /5.30/ легко выявить эти причины и указать пути разрешения вопроса. Возможно потребуются повысить надежность резервирования или каким-то путем повысить вероятность обнаружения и парирования отказа летчиком /введением эффективной сигнализации или специальным обучением летчиков/. Таким образом, из подобных схем можно выявить пути повышения надежности системы "человек-машина" по отношению к определенным последствиям отказов.

## 5. Об оценке значимости контрольных приборов

Действия оператора в системе "человек-машина" обусловлены информацией контрольных приборов. Выше /в главе III/ было показано, что различные информации, поступающие к опе-

работу, имеют для него не одинаковую значимость. Очевидно и приборы — источники этих информаций, будут для оператора неравнозначны: от значимости информаций будет зависеть и значимость самого прибора. Оценки значимости в системе управления того или иного прибора нужны при разработке приборных панелей, при обучении операторов, при эксплуатации и техническом обслуживании приборов.

Каковы же возможности количественной оценки значимости контрольных приборов? Так как существуют количественные оценки информации, их, в принципе, можно было бы использовать и для оценки значимости приборов. Однако такой путь решения вопроса имеет существенный недостаток. Покажем это на примере. Пусть указанным путем мы оценили значимость авиагоризонта. Предположим далее, что для повышения безопасности полетов на том же самолете установили второй — дублирующий авиагоризонт. Подсчитаем тем же путем его значимость. Очевидно она окажется такой же, как и значимость основного авиагоризонта. Получается нелепость — прибор, без которого раньше летчик мог обходиться, оказался такой же значимости, как и основной пилотажный прибор. Следовательно, нужен метод, позволяющий оценивать значимость непосредственно самих приборов.

К решению этого вопроса мы подошли также на основе метода акад. А.А.Харкевича [75] по оценке значимости информации, но при несколько иной постановке задачи.

В новой ее постановке будем оценивать "вклад", который вносит данный прибор в дело выполнения оператором поставленной цели. Значимость прибора определим из сравнения вероятностей достижения цели при наличии данного прибора в системе и без него:

$$C_{\text{пр}} = \log_2 \frac{R_0^*}{R_1^*}, \quad /3.31/$$

где  $C_{\text{пр}}$  — значимость данного прибора в системе,  
 $R_0^*$  — вероятность достижения цели при наличии в системе данного прибора,  
 $R_1^*$  — вероятность достижения цели при отсутствии в

системе данного прибора.

В различных условиях работы системы значимость прибора, естественно, не одинакова, поэтому введем понятие средней значимости прибора /  $C_{np}$  /:

$$C_{np} = \sum_{i=1}^n \tau_i C_{np} = \sum_{i=1}^n \tau_i \log_2 \frac{R_{oi}^*}{R_{1i}^*}, \quad /3.32/$$

где  $\tau_i$  - вероятность появления  $i$ -х условий работы системы,

$n$  - число возможных условий работы системы.

В данной постановке задачи значимость прибора фактически определяется возможностями оператора достигать поставленную цель, используя информацию других /резервных/ приборов, или вообще без прибора.

Во многих системах "человек-машина" при отказе основных контрольных приборов предусмотрено выключение систем. Такая инструкция - выключать систему при отказе одних приборов и продолжать работу при отказе других, подтверждает правомерность нашего подхода к оценке значимости приборов.

Характеристики значимости приборов следует рассматривать в непосредственной связи с характеристиками надежности. Прибор, имеющий большую значимость в системе, должен быть соответственно более надежным. Критерий, устанавливающий взаимосвязь между этими характеристиками, можно вывести из следующих соображений. При исправной работе прибора существует определенная вероятность достижения цели /  $R_o^*$  /. С вероятностью /  $1 - P_o$  / случается событие /отказ прибора/, когда оператору приходится действовать без прибора, причем вероятность достижения цели /  $R_1^*$  / падает. Надежность прибора /  $P_o$  / должна быть такой, чтобы полная вероятность достижения цели при его отказе была не ниже вероятности достижения цели при исправном приборе:

$$\frac{1 - R_o^*}{(1 - P_o)(1 - R_1^*)} \geq 1. \quad /3.33/$$

Среднюю значимость прибора, полученную по формуле

/3.32/, можно выразить через эквивалентные, средние для различных условий, вероятности достижения цели при наличии прибора /  $R_{03}^*$  / и при его отсутствии /  $R_{13}^*$  /;

$$C_{np} = \log_2 \frac{R_{03}^*}{R_{13}^*}. \quad /3.34/$$

Из /3.34/ находим:

$$R_{13}^* = 2^{-C} R_{03}^*. \quad /3.35/$$

Подставляя значение  $R_{13}^*$  из /3.35/ в формулу /3.33/, получаем критерий соответствия надежности прибора его значимости:

$$\frac{1 - R_{03}^*}{2^{-C} (P_0 - 1)(1 - P_0)} \geq 1. \quad /3.36/$$

Невыполнение данного /3.36/ критерия указывает на необходимость повысить надежность основного прибора или добиться того, чтобы оператор мог с большей вероятностью выполнять поставленную цель без данного прибора. Последнее может быть достигнуто путем постановки дополнительных резервных приборов или путем специального обучения операторов по более эффективному использованию имеющихся приборов. Для решения этой задачи нужно провести анализ возможностей оператора в данной системе, реконструировать интересующую нас информацию.

## 6. Эффективность системы "человек-машина" и деятельности в ней оператора

Работа системы "человек-машина" и деятельность в ней оператора определяется рядом параметров: быстродействием, точностью, надежностью, экономичностью и др. Каждый из параметров оценивает только определенную сторону работы системы или деятельности оператора, и потому не может служить общим показателем работы всей системы.

Возникает вопрос: нельзя ли дать одну обобщенную характеристику работы системы или действий оператора, которая вобрала бы в себя их частные характеристики. Следуя методам инженерной психологии, посмотрим как этот вопрос решается в технике. Там в качестве обобщенной характеристики используется параметр эффективности. Он определяется из следующих соображений.

Полное описание системы должно включать в себя как описание степени ее соответствия своему назначению /качества/, так и способности выполнять заданные функции в данных условиях за данное время, при сохранении требуемого качества /надежности/. Характеристики качества системы выражаются обычно в виде рабочих характеристик или количественных оценок. Надежность же оценивается вероятностью выполнения заданных функций по принципу "да - нет". Для получения обобщенной оценки требуется выразить характеристики качества и через вероятностные категории. Нужно определить вероятность события, при котором  $\omega$  ответствующие характеристики, определяющие качество системы, будут находиться в установленных пределах.

Обозначим вероятность безошибочной работы системы через  $P(A)$ . Это событие может произойти при  $n$  различных несовместимых состояниях качества системы:  $K_1, K_2, \dots, K_n$ , которые наступают соответственно с вероятностями:  $p(k_1), p(k_2), \dots, p(k_n)$ .

Тогда средняя условная вероятность безотказной работы системы, при всевозможных состояниях ее качества, определит эффективность системы /  $W$  /:

$$W = \sum_{i=1}^n p(k_i) P\left(\frac{A}{k_i}\right), \quad /3.37/$$

где  $p(k_i)$  - вероятность появления данного  $i$  качества системы,

$P\left(\frac{A}{k_i}\right)$  - вероятность безотказной работы системы в условиях  $K_i$  качества.

В формуле /3.37/ эффективность расценивается с точки зрения будет или не будет действовать система при тех или иных значениях ее параметров. Имеются системы, качество работы которых расценивается по достижению какими-либо характеристиками максимальной величины /по принципу "чем больше, тем лучше"/. Для них критерием эффективности может служить математическое ожидание этой величины. В таком случае эффективность системы определяется формулой:

$$W = \sum_{i=1}^n p(\kappa_i) M\left(\frac{u}{\kappa_i}\right), \quad /3.38/$$

где  $u$  - состояние системы,

$M\left(\frac{u}{\kappa_i}\right)$  - условное математическое ожидание состояния системы при качестве  $\kappa_i$ .

Формулы /3.37/ и /3.38/ могут применяться для оценки эффективности работы системы "человек-машина" и ее оператора. Так например, параметрами  $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \dots, \kappa_n$  можно задать различные пределы точности действия оператора, а характеристиками  $P\left(\frac{A}{\kappa_1}\right), P\left(\frac{A}{\kappa_2}\right), \dots, \dots, P\left(\frac{A}{\kappa_n}\right)$  определить вероятность безошибочной работы оператора при заданных условиях точности. Формула /3.37/ позволяет оценить среднюю эффективность деятельности оператора, с учетом точности и надежности его работы.

Приведем другой пример. Требуется оценить эффективность действия системы, исходя из ее быстродействия и точности. Для этого используем формулу /3.38/. Пусть  $u$  характеризует быстродействие системы. Для каждого уровня точности системы:  $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \dots, \kappa_n$  можно определить условное математическое ожидание быстродействия:  $M\left(\frac{u}{\kappa_1}\right), M\left(\frac{u}{\kappa_2}\right), \dots, \dots, M\left(\frac{u}{\kappa_n}\right)$ . Зная вероятности выдерживания заданной точности  $p(\kappa_1), p(\kappa_2), \dots, \dots, p(\kappa_n)$  по формуле /3.38/ можно подсчитать среднюю эффективность системы с точки зрения ее быстродействия при различных уровнях точности.

## VI. СРЕДСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ И ИХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ

Особый интерес для инженерной психологии представляют те звенья машин, с которыми человек непосредственно /физически/ соприкасается. Такие звенья находятся как у сенсорного входа человека, информируя его о параметрах работы машины, так и у моторного выхода, в виде органов управления, посредством которых человек воздействует на машину.

В данной главе будут рассмотрены характеристики воздействия на оператора различных видов индикаторов и сигнализаторов, преобразующих осведомительную информацию, поступающую от машины, в соответствующие сигналы, предназначенные для оператора.

В системе "человек-машина" оператору выдается информация в самой различной форме: в виде отклонений стрелок и индексов на шкалах приборов, световых сигналов, радиолокационных и телевизионных изображений, акустических и тактильных воздействий и т.д. От того, насколько точно и своевременно будет восприниматься оператором данная информация, зависит эффективность работы оператора и всей системы "человек-машина" в целом.

На приборных досках современных систем установлены десятки и сотни приборов и сигнализаторов. Поэтому предметом исследования инженерной психологии является не только согласование отдельных источников информации с характеристиками восприятия операторов, но и компоновка приборных панелей, исходя из сенсорных возможностей оператора и решаемых им в данной системе задач. Все эти вопросы определяют психологические принципы конструирования сигнализаторов и приборных панелей. В свое время они послужили поводом для первых инженерно-психологических исследований и сейчас остаются центральным вопросом этой области знания.

## 1. Классификация индикаторов

Большое разнообразие средств сигнализации, используемых в системах "человек-машина", принципов действия приборов и решаемых ими задач определило существование и различных способов классификации индикаторов. Укажем главные из них, выделенные Б.Ф.Ломовым [34] .

1. По модальности передаваемые сигналы могут быть визуальными, акустическими, тактильными и др. Мы уже отмечали, что основная масса информации поступает к оператору по зрительному каналу. Большой объем этой информации в отдельных системах является причиной недостаточной надежности оператора. С усложнением систем у оператора часто возникает потребность в дополнительной информации. Так как зрительный канал наиболее простой, наиболее освоенный и позволяет наилучшим образом передавать самые разнообразные сообщения, дополнительная информация обычно также передается по зрительному каналу, что ведет к еще большей его загрузке. Поэтому сейчас остро встает вопрос о привлечении других анализаторов для приема информации — большей загрузки канала слуха, использовании тактильного канала. Высказываются идеи об использовании даже канала болевой чувствительности для передачи сигналов опасности.

2. По функции выдаваемой информации Б.Ф.Ломов делит индикаторы на целевые /командные/ и ситуационные. Первые отображают цель управления /"конечную точку", которая должна быть достигнута/ и дают сведения о необходимых действиях. Таким индикатором является на самолете лампочка сигнализации об отказе двигателя или звонок, указывающий о пролете данной точки на местности.

Ситуационные индикаторы дают не только информацию об отношении хода процесса к программе, но и обрисовывают ситуацию как таковую. Примером такого индикатора могут служить спидометр на автомашине, часы.

Д.Гувер [19] делит информацию, с точки зрения вы-

полняемых функций, на три вида: ориентирующую, направляющую и количественную. Первая показывает что делает оператор, вторая - что он должен делать, третья - как он выполняет действие. Примером первого вида является сигнальная лампочка, которая свидетельствует о выполнении оператором той или иной задачи. Примером информации второго вида является командный курсовой прибор, выдающий летчику сигнал на правый или левый доворот по курсу. К третьему виду относится указатель скорости, по которому оператор оценивает скорость движения.

3. По способу использования показаний индикаторы делятся на три группы:

а/ Для контрольного /проверочного/ чтения. По таким индикаторам /сигнальные лампы, табло и т.д./ оператор решает задачу "да-нет": работает машина или нет, в норме или нет параметры ее режима.

б/ Для качественного чтения. Подобные индикаторы дают информацию о направлении изменения управляемого параметра: возрастает он или падает; если отклоняется, то указывают в какую сторону происходит отклонение. Индикаторы этой группы совмещают в себе возможности контрольного и качественного чтения.

в/ Для количественного чтения. Такие индикаторы передают информацию в виде численных значений контролируемых параметров. Абсолютное большинство контрольных приборов относится к этой группе, они позволяют производить контрольные качественные и количественные отсчеты.

4. По форме сигнала, то есть по отношению его свойств к свойствам объекта. Сигналы могут передаваться в виде символов, определяющих в закодированном виде состояние объекта. Выбор символов осуществляется из соображений обеспечения оптимальной эффективности кодирования.

Возможна передача сигналов и в форме изображений. В этом случае качество передачи определяется полнотой изображения - степенью схематизации, детализации и количеством воспроизводимых свойств.

+

+

+

Иногда индикаторы различаются и по другим признакам: с точки зрения соответствия скорости передачи сообщений "пропускной способности" органов чувств оператора, подразделяются по масштабу /то есть отношению величины сигнала к величине изменения самого измеряемого параметра/.

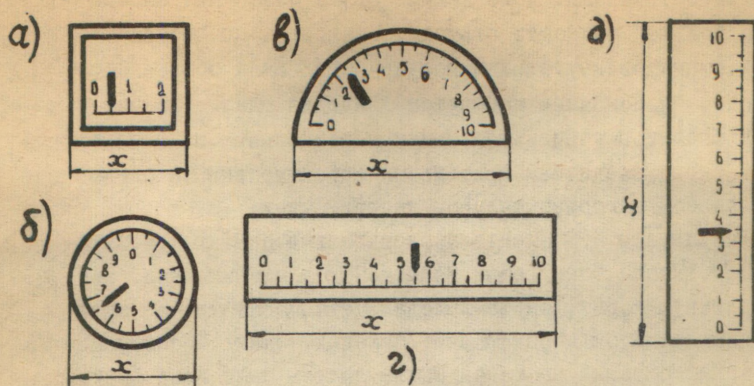
Каких-либо обобщенных критериев психологической оценки индикаторов пока не существует. Поэтому в конкретных инженерно-психологических исследованиях обычно ограничиваются характеристикой читаемости индикатора, которая оценивается по показателям скорости и точности различения, опознания и интерпретации его показаний. Рассмотрим несколько подробнее отдельные виды индикаторов.

## 2. Стрелочные индикаторы

Такие индикаторы наиболее распространены и наиболее полно изучены. Недостатком их является отсутствие наглядности, возможность передачи информации только об отдельных параметрах, относительно большая площадь циферблатов. Однако, вследствие широкого распространения таких индикаторов, вопросы психологической оценки качества оформления их лицевых частей имеют большое практическое значение.

Читаемость стрелочных индикаторов зависит от формы и размеров шкалы, ее оцифровки, формы стрелок. Влияние этих факторов на скорость и точность отсчетов исследовались советскими и зарубежными учеными. Проведем краткий анализ результатов некоторых из этих исследований.

В ряде работ /Н.Е.Грэхэма, Р.Б.Слейта и др [по 34] / изучалось влияние формы шкалы на точность и скорость количественного чтения показаний прибора. Так Слейт сравнивал пять форм шкал /фиг. 34/ по точности их отсчетов оператором /время предъявления всех шкал было одинаковым, равным 0,12 сек/.



Фиг. 34. Формы шкал, использованных в опытах Слейта.  $x$  - размеры шкалы.

Полученные результаты представлены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Форма шкалы	а	б	в	г	д
Максимальный размер шкалы $/x/$ в см.	4,233	5,503	11,006	17,780	17,780
Ошибки отсчетов в %	0,5	10,9	11,6	27,5	35,5

Наиболее точно операторы отсчитывали показания прибора "а" - счетчика типа "открытое окно", затем следовали круговые шкалы /"б"/ полукруговые /"в"/, горизонтальные /"г"/ и, наконец, вертикальные /"д"/.

Преимущество счетчика объясняется простотой задачи - опознаванием демонстрируемых цифр. Лучшая читаемость круговой и полукруговой шкалы, по сравнению с горизонтальной и вертикальной, объясняется, по-видимому, преимуществом шкал с двухмерными стимулами по отношению к линейным шкалам с

одномерными стимулами. Дополнение нового измерения способствовало большей точности отсчета. Сравнительно высокая точность отсчетов круговых и полукруговых шкал объясняется также более экономичным маршрутом движения глаз. Разница в точности отсчетов горизонтальных и вертикальных шкал может быть объяснена различием зрительной ориентировки человека в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Результаты Слейта проверялись в опытах А.А.Митькина [43]. После тренировки испытуемых в чтении шкал, имеющих различную форму, он исследовал читаемость тех же шкал, но лишенных отметок и оцифровки /"слепых" шкал/. Испытуемые по положению стрелки на такой шкале должны были производить количественные отсчеты. По точности отсчетов "слепые" варианты шкал распределились следующим образом: круговая, полукруговая, линейная горизонтальная, линейная наклонная и линейная вертикальная, т.е. результаты Митькина совпали с данными Слейта. В опытах Митькина испытуемые фактически решали задачу идентификации положений стрелки на шкале. При отсчетах показаний линейных шкал они ориентировались только по положению стрелки между начальной и конечной точкой шкалы /одномерным стимулом/, а при отсчетах круговых и полукруговых шкал, кроме того, еще и по наклону стрелки /двухмерным стимулом/.

В более поздних исследованиях выяснилось, что читаемость круговых шкал зависит еще от того, в каком квадрате шкалы находится стрелка. Лучше всего оценивается положение стрелки в верхнем левом квадрате и хуже всего - в правом нижнем.

Скорость и точность отсчетов стрелочных приборов зависит от того, что является подвижным элементом: стрелка или шкала. Установлено, что при коротких экспозициях /менее 0,5 сек/ точнее читаются приборы с подвижной шкалой и неподвижной стрелкой. Здесь условия отсчета приближаются к тем, которые имеются при чтении показаний счетчика /отсутствуют поисковые движения глаз/. Однако при больших экспозициях лучше отсчитываются приборы с неподвижной шкалой и подвижной стрелкой.

Отмечено также, что точнее читаются показания приборов, у которых начальная точка отсчета расположена слева. Здесь очевидно, сказываются навыки чтения печатного текста, определяющие оптимальное направление движения глаз.

Чапанис [по 34] провел сравнение пригодности трех типов индикаторов /неподвижная круговая шкала с подвижной стрелкой, подвижная круговая шкала с фиксированной стрелкой и счетчик/ для контрольного, качественного и количественного чтения. Он исследовал эти характеристики совместно с решением задач по установке органов управления в определенное положение и слежением. Результаты сравнения приведены в табл. 6. Степень пригодности указанных типов индикаторов для решения отдельных задач оценивается в таблице по пятибальной системе.

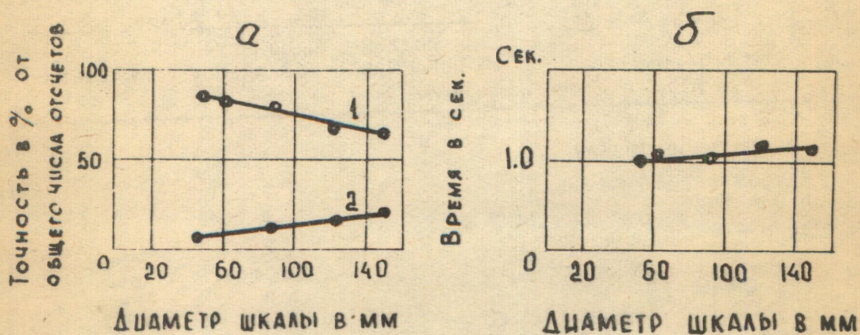
Т а б л и ц а 6

З а д а ч и	Тип индикатора		
	с подвижной стрелкой	с подвижной шкалой	счетчик
Контрольное чтение	5	2	2
Качественное чтение и слежение	5	3	2
Количественное чтение	3	3	5
Установка органов управления	5	3	5

Таблица показывает, что наилучшие результаты для выполнения отдельных задач дает круговая шкала с подвижной стрелкой и счетчик. Совмещение этих индикаторов в одном приборе, очевидно, позволит получить оптимальный индикатор многоцелевого назначения.

Большое значение имеет выбор размера шкалы. Решение этого вопроса ограничивается, с одной стороны, необходимостью обеспечения заданной точности отсчетов, а с другой — потребностью в сокращении площади прибора на приборной до-

ске, возникающей с ростом количества приборов. Изучение зависимости скорости и точности восприятия показаний приборов от их диаметра проводились в Советском Союзе еще в конце 20-х - начале 30-х гг. Так, еще в 1928 г. С.М.Розенберг пришел к заключению, что шкалы авиационных приборов, несущие важную информацию, должны иметь диаметр 120-130 мм, менее важную - 70-80 мм, а остальные - 50 мм. Строгое исследование влияния диаметра шкалы на точность отсчетов провел А.А.Крылов [32]. Он измерял точность отсчетов показаний одинаковых шкал приборов, отличающихся только размерами /50, 60, 90, 120 и 150 мм/ с расстояния одного метра при экспозиции 0,3 сек. Автор показал, что с увеличением диаметра шкалы снижается точность отсчетов и увеличивается затраченное время /фиг. 35/. Результат этот он считал следствием увеличения длины зрительных маршрутов при отсчете показаний приборов большего диаметра.



Фиг. 35. Зависимость точности /а/ и времени считывания /б/ показаний приборов от диаметра шкалы /по А.А.Крылову/ 1 - число правильных ответов, 2 - число невоспринятых показаний.

В.И.Уайт исследовал вопрос о выборе оптимального диаметра прибора непосредственно на приборных панелях, на которых располагалось 16 приборов диаметром 25, 44 и 70 мм. При исследовании он регистрировал количество фиксаций глаз,

их среднюю длительность, общее время просмотра шкалы, длительность реакций и количество ошибок. Уайт пришел к заключению, что оптимальным является диаметр прибора 44 мм [по 34] .

По мнению Чапаниса, лучше всего читаются приборы диаметром 75 мм /с расстояния 750 мм/.

Различие результатов разных авторов определяется, очевидно, неодинаковыми условиями экспериментов. Для нас важен вывод, что между диаметром прибора и его читаемостью нет линейной зависимости, а также заключение о том, что для каждого прибора в рассматриваемой системе управления имеются оптимальные размеры шкалы. Эффективность чтения приборов зависит как от диаметра прибора, так и от дистанции наблюдения. Эти данные целесообразно учитывать одной характеристикой — угловыми размерами. Существует мнение, что оптимальные угловые размеры приборов находятся в районе  $2,5-5^{\circ}$ .

Взаимосвязь между диаметром шкалы, расстоянием между оцифрованными делениями и дистанцией наблюдения детально изучалась Е.П.Новодворским, А.И.Викентьевой, К.К.Платоновым и Ю.А.Петровым /1958/. На основе исследований они составили номограмму, позволяющую определять оптимальные характеристики шкал, исходя из заданной погрешности отсчетов и дистанций наблюдения [по 36] .

Многие работы посвящены исследованию элементов стрелочных приборов: стрелок, цифр, штрихов, расстояния между неоцифрованными и оцифрованными отметками, длины шкалы и т.д. Приведем некоторые результаты этих работ [по 34] .

Т.И.Жукова показала преимущества клиновидной стрелки перед другими видами стрелок. Она установила также, что читаемость шкал улучшается, если кончик стрелки не касается делений шкалы, а находится на некотором расстоянии от них /не более 1,6 мм/. Есть данные о том, что хорошая читаемость приборов обеспечивается и тогда, когда стрелка касается внутреннего края самой мелкой отметки, не перекрывая ее. Желательно, чтобы стрелка по всей длине имела один цвет и бы-

ла окрашена так же как цифры и штрихи.

Н.В.Зимкин /1937/ установил, что оптимальная ширина штриха в авиационных приборах равна 0,8–1 мм для малых приборов и 1,2–1,5 мм – для больших. Оцифрованные штрихи должны быть в 2–4 раза толще и в 2–2,5 раза длиннее остальных. Оптимальное отношение ширины мелких штрихов к их высоте находится в пределах: от 1:4 до 1:6.

Важным вопросом при разработке шкал стрелочных приборов является выбор оптимальных размеров основного /оцифрованного/ и минимального деления шкалы. Экспериментально установлено, что с увеличением оцифрованного интервала до определенного предела /12,5–18 мм/ читаемость улучшается, с дальнейшим увеличением этого интервала читаемость становится хуже. Установлено также, что для мелких делений имеется оптимальное расстояние. Хотя известно, что использование дополнительных меток улучшает опознавание, опыты показывают, что чрезмерное увеличение числа мелких делений снижает скорость и точность отсчетов. Принято считать, что оптимальной величиной мелкого деления является интервал 1,5 мм при дистанции отсчета 760 мм /т.е. при угловой величине  $6-7^{\circ}$ /.

При отсчетах стрелочных приборов оператору часто приходится интерполировать положение стрелки между делениями шкалы. В исследованиях Крживоголавого установлено, что наилучшие результаты интерполяции достигаются в том случае, если оператор должен мысленно делить отмеченный интервал шкалы не более чем на 4–5 частей.

Читаемость шкал зависит от численных значений оцифрованных делений, от частоты оцифровки. Так Лоукс показал, что при чтении шкалы, на которой все деления обозначены цифрами, латентный период реакции в 2 раза больше, чем при чтении такой же шкалы, но с цифровыми обозначениями данных на каждом пятом делении.

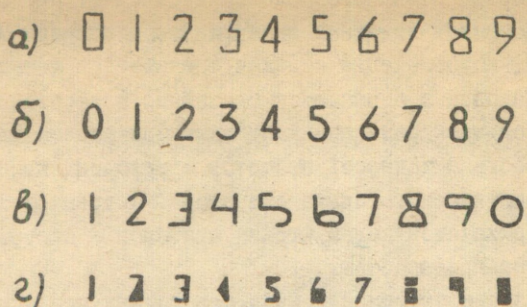
Исследуя процесс чтения стрелочных индикаторов, Р.М.Мансуров установил этапы восприятия показаний приборов. Он выявил, что исходным моментом чтения показаний является

различение пространственного положения стрелки. При очень коротких экспозициях линейной шкалы цифры и деления на ней не опознаются, но положение стрелки оценивается точно. При увеличении экспозиции опознаются ближайшие оцифрованные отметки. Наибольшее время занимают акты зрительной интерполяции. Скорость и точность отсчетов стрелочных приборов зависит от практического опыта оператора. С тренировкой у операторов формируется навык чтения приборов — скорость и точность отсчетов возрастают.

При анализе читаемости шкал стрелочных приборов следует специально остановиться на вопросе влияния способа начертания цифр на точность отсчетов [по 34].

По данным Слейта цифры по точности и скорости их опознавания, располагаются в следующем порядке: I, 7, 4, 0, 2, 9, 5, 6, 8. Мансуров дает несколько иной порядок: 4, 7, 5, 3, 0, I, 8, 2, 6, 9. Несмотря на расхождения, следует отметить, что на первом месте по точности и скорости отсчета стоят цифры, образованные прямыми линиями. Исходя из этого, Бергер предложил начертание цифр с использованием только прямолинейных элементов /фиг. 36 а/. Основываясь на том, что операторы наиболее часто допускают ошибки при чтении сложных цифр, Макворт предложил упрощенное начертание цифр /фиг. 36 б/. Слейт установил, что при опознавании цифр по их нижней правой части испытуемые допускают значительно больше ошибок, чем при опознавании тех же цифр по левой верхней части. Ошибки обуславливаются наличием у разных цифр сходных элементов. Опираясь на эти данные, Слейт предложил начертание цифр, которое подчеркивало бы их различие /фиг. 36 в/. Проверка показала, что в начертании Слейта опознаются значительно точнее.

Ландсел предложил цифры, в основу начертания которых были приняты простые геометрические фигуры /фиг. 36 г/. Точность опознавания этих цифр оказалась выше, чем цифр Макворта, которые считаются лучшими из начертаний обычного типа.



Фиг. 36 . Начертания цифр а/ по Бергеру,  
б/ Макворту, в/ по Слейту,  
г/ по Ландселу.

В инженерной психологии также изучается вопрос об оптимальных размерах цифр, толщине их обводки, соотношениях между высотой и шириной, о цвете начертания цифр. Так А.А.Степанов [67] показал, что при чтении белых цифр на темном экране человек допускает меньше ошибок и меньше утомляется, чем при чтении черных цифр на светлом фоне.

### 3. Индикаторы, выдающие сигналы в форме изображений

Индикаторы данного типа встречаются значительно реже, чем стрелочные. Однако, с развитием радиоэлектроники их применение несколько расширилось. В частности стали чаще использоваться приборы, выдающие оператору информацию в виде изображений на экранах электронно-лучевых трубок.

С совершенствованием летательных аппаратов значительно усложнилась деятельность летчика. Чтобы обеспечить его надежную работу в сложных условиях управления и жизнедеятельности появилась необходимость в создании индикаторов, максимально облегчающих восприятие и переработку информации, а также реализацию управляющих действий. Так, возникли новые типы индикаторов, дающие летчику представление о простран-

ственном положении самолета и позволяющие видеть на приборах изображения, подобные тем "картинам", которые он видит из кабины самолета при визуальном полете.

Остановимся вначале на анализе восприятия и опознавания изображений на экранах электронно-лучевых трубок [ по 34 ] .

На экране такой трубки объект отображается в виде слабо светящегося пятна, возникающего на фоне помех. Поэтому при использовании подобных индикаторов актуальным вопросом стало зрительное обнаружение и опознавание минимальных /близких к пороговым/ световых сигналов. Исследования показали, что вероятность обнаружения сигнала изменяется с изменением яркости экрана. Существуют оптимальные значения яркости экрана, при которых возможно обнаружение малоcontrastных сигналов. Установлено, что если освещенность окружающего пространства такая же, как и фон экрана, она не только мешает видимости сигнала, но даже улучшает ее, т.к. позволяет сохранить адаптацию глаза на некотором постоянном уровне.

Как известно, изображение на экране электронно-лучевой трубки зависит от технических характеристик прибора, а также от степени фокусировки и настройки яркости индикатора. По данным Гарримана, с увеличением яркости сигнала на экране время его поиска существенно сокращается. Сигналы, появляющиеся на периферии экрана достаточно хорошо обнаруживаются лишь в том случае, если их яркость выше пороговой более чем в 6-8 раз.

Важным вопросом в восприятии информации с экранов электронно-лучевых трубок является обнаружение сигнала на фоне помех. Рейн-Скотт, исследовавшая этот вопрос, пришла к выводу, что если повысить число шумовых импульсов на единицу времени, то можно получить более равномерное их распределение по экрану и, благодаря этому, повысить вероятность обнаружения полезного сигнала на фоне шумов. Объяснение этому факту можно найти в работах Б.М.Теплова - под воздействием светящегося экрана снижается абсолютный порог

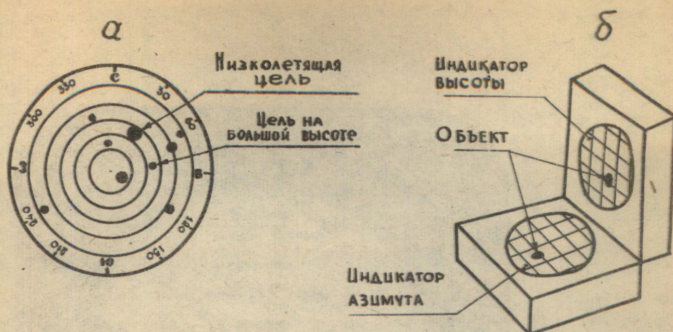
светоощущения сетчатки глаза для отдельных точечных раздражителей.

Задачей оператора, работающего с индикатором типа электронно-лучевой трубки, является не только обнаружение сигнала, но и слежение за его перемещением. В связи с этой задачей возникает вопрос об оценке порогов зрительного восприятия скорости движущихся на экране отметок. Так экспериментально установлено, что нижний порог зрительного восприятия скорости движения равен примерно 1-2 угловых мин/сек в случае, если движущаяся точка оценивается относительно неподвижного объекта; при отсутствии же такого объекта этот порог возрастает до 15-30 угловых мин/сек. Пороги различения изменения скорости прямолинейного движения точки, как показал Водлозеров [13], зависят от исходной скорости.

У электронно-лучевых индикаторов как приборов передающих информацию изобразительными средствами имеются существенные недостатки: их изображение не передает положение объектов в трехмерном пространстве, а представление объектов в виде точек затрудняет их опознавание. Поэтому в технике предпринимаются попытки дать на экране электронно-лучевой трубки третье измерение путем модуляции размера сигнала, его яркости, цвета. Так в некоторых системах информация о высоте /например, самолета/ представляется путем изменения диаметра светового пятна: чем выше объект, тем меньше на экране размеры его сигнала /фиг. 37 а/. В других системах имеются попытки использовать два взаимно-перпендикулярных экрана: один для изображения объекта в горизонтальной плоскости, а другой - в вертикальной /фиг. 37 б/.

В последнее время находят применение совмещенные индикаторы, объединяющие радиолокационные изображения со знаковой индикацией. Последняя используется для передачи дополнительной информации о высоте объекта и о других параметрах его движения и работы.

Остановимся кратко на типах индикаторов, передающих

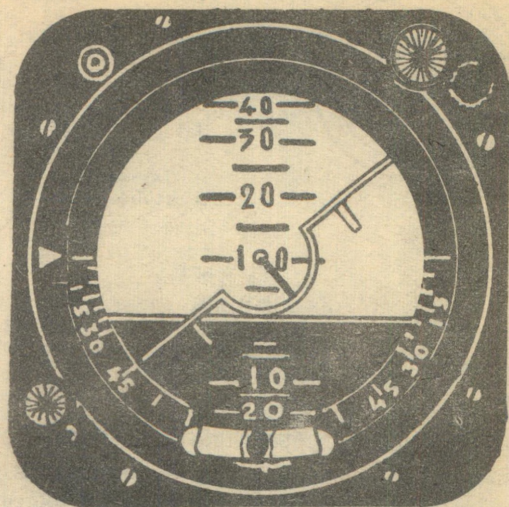


Фиг. 37. Индикаторы, дающие отображение третьего измерения /кроме дальности и азимута цели определяется ее высота/.

информацию в виде изображений. В частности рассмотрим индикаторы, предназначенные для пилотирования самолета, где используются оптические и электромеханические устройства, а также электронно-лучевые трубки.

В предшествующих главах в качестве примеров мы неоднократно обращались к авиагоризонту, на шкале которого дается картинное представление о положении самолета в пространстве. Путем изменения положения "силуэттика" самолета относительно линии, обозначающей горизонт, создается картина, образно отображающая положение самолета в пространстве /фиг. 38/. Линия горизонта отделяет голубую и коричневую часть шкалы прибора – первая обозначает небо, вторая – землю. С перемещением самолета относительно поперечной оси, эта шкала поднимается или опускается. Положение "силуэттика", по отношению к указанной шкале, создает впечатление с набором высоты или со снижением. Повороты "силуэттика" указывают углы крена самолета. Оцифровка, предусмотренная на шкале, позволяет летчику количественно оценивать угол поворота самолета относительно продольной

и поперечной оси.



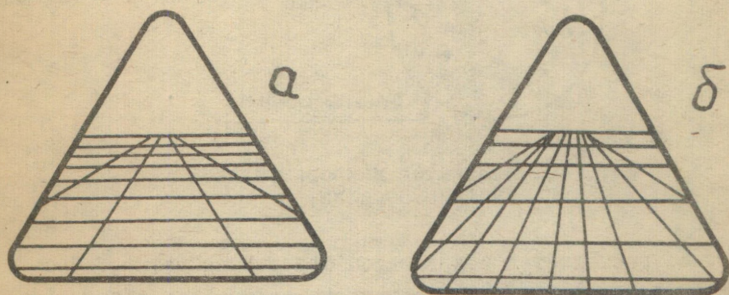
Фиг. 38. Шкала авиагоризонта. Прибор показывает, что самолет набирает высоту с креном  $45^\circ$ .

Рассмотрим типы "картинных индикаторов", которые появились в 60-х гг. [81] [82].

Фирмой "Уолфрид" разработан электро-механический прибор, на экране которого представляется изображение, аналогичное тому, какое летчик видит при визуальном полете. Посредством движения сетки линий на индикаторе создается картина, дающая впечатление полета над железнодорожным полотном. По движению линий воспринимается изменение

высоты и скорости полета.

Другой аналог визуального полета, разработанный фирмой "Дуглас", представляет экран плоской прозрачной электронно-лучевой трубки, расположенной между летчиком и передним стеклом кабины /фиг. 39/. На экране изображена сетка, имитирующая поверхность земли и траекторию полета в виде так называемой "дороги в небо". Сетка линий "перспективы", тянущихся до линии, обозначающей горизонт, имитирует видимый ландшафт. По величине ячеек, образованных сеткой, создается впечатление о высоте полета самолета, а по скорости пробегания поперечных полос можно судить о его скорости. Так на фиг. 39 а дана картина, имитирующая полет на малой высоте, а на фиг. 39 б - при большей высоте. В хорошую погоду за изображением на экране летчик видит действительный ландшафт местности. Таким образом для летчика облегчается переход от полета по приборам к визуальному и снижается число ошибок, характерных для такого перехода.



Фиг. 39. Аналог визуального полета.  
а/ полет на малой высоте,  
б/ полет на большой высоте.

Весьма перспективными индикаторами такого типа являются плоские электронно-лучевые трубки, выдающие телевизионное изображение местности и положения самолета в пространстве.

В настоящее время ведется конструирование приборов,

дающих наглядное изображение направления полета. Создаются приборы-карты, позволяющие летчику легко ориентироваться в горизонтальной плоскости. На таких приборах с высокой точностью определяется местоположение самолета и траектория его движения.

Для выдерживания направления полета при заходе на посадку фирмой "Бендикс" разработана микровизуальная система наведения на посадочную полосу /фиг. 40/. Вдоль посадочной полосы располагаются радиомаяки, сигналы которых принимает бортовой ультракоротковолновый приемник. Индикация маяков дается серией светлых пятен на экране электронно-лучевой трубки. Летчик видит "картину" посадочных огней, будто он совершает ночной полет при хорошей видимости. Выдерживание направления полета на посадочную по-



Фиг. 40. Индикатор микровизуальной системы посадки.

лосу осуществляется сохранением светящейся метки, обозначающей самолет, на оси симметрии светящихся точек, имитирующих посадочные огни.

#### 4. Командные /направляющие/ индикаторы

В настоящее время особенно большое внимание уделяется разработке индикаторов направляющей - командной информации.

Такой тип индикаторов, выдающих оператору информа-

цию о том, что он должен делать, иногда называют директорными приборами. Появление в системах "человек-машина" вычислительных устройств, выполняющих функции сбора разрозненных данных о состоянии управляемого объекта и решение логических задач с выдачей оператору команд об оптимальном способе действия, выдвинуло на передний план вопрос разработки директорных индикаторов.

Наиболее типичной для директорной индикации является выдача команд по управлению посредством перемещения стрелок, индексов, планок. На авиагоризонте, например, вводятся две дополнительные планки - горизонтальная и вертикальная. Перемещение планок подсказывает летчику направление и дозировку движения рукоятки управления самолетом: вперед-назад /горизонтальная планка/ и влево-вправо /вертикальная/. Директорные планки используются на пилотажных приборах для указания направления полета по радиолучу локатора, для выдерживания курса полета и заданной траектории слежения.

Инженерно-психологические исследования работы летчиков с директорными приборами показали, что даже в условиях, приводящих к сужению поля восприятия /например, при разного рода помехах или неблагоприятном эмоциональном фоне/, летчик получает от этих приборов информацию, необходимую для выдерживания заданного режима полета. Было установлено, что информация директорных приборов своевременно воспринималась и правильно истолковывалась летчиками даже при самых неблагоприятных условиях. Поэтому применение директорных приборов особенно перспективно для систем, в которых деятельность оператора связана с необходимостью сохранения большого объема внимания и переработкой значительного количества разнообразной информации. Такие условия создаются у летчиков при заходе на посадку по приборам в отсутствии непосредственной видимости земли. Однако, стрелочные директорные индикаторы не всегда способны обеспечивать оператора непрерывной приборной информацией. Оператору обычно приходится контролировать, наря-

ду с директорными приборами, и другие индикаторы, выполнять задачи, отвлекающие его от контроля за директорными приборами. Инженерно-психологические исследования показали, что в условиях посадки, где летчик должен отвлекаться для наблюдения за внекабинным пространством, следить за приборами контроля работы двигателя, директорные приборы не обеспечивают его необходимой информацией.

Для расширения объема внимания летчика в условиях посадки, используются так называемые директорные паравизуальные приборы [83]. Паравизуальные приборы относятся к индикаторам, выдающим сигналы в форме изображений. Прибор представляет собой цилиндр с прямоугольной прорезью, в которой видны черные и белые полосы /фиг. 4I/.



Фиг. 4I. Внешний вид паравизуального директорного прибора.

В систему индикации обычно входит три таких директорных прибора: один из них помещается перед летчиком на верхнем обресе приборной доски и выдает команды по боковому управлению самолетом; два другие индикатора снабжают его директорной информацией по управлению самолетом относительно продольной оси, они расположены сбоку от летчика под углом к приборной доске. Каждый индикатор выдает сигналы движением черных полос на белом фоне. Если у самолета возникает правый крен, то начинает вращаться правый цилиндр, если появляется левый крен, то вращается левый цилиндр. При этом скорость мелькания черно-белых полос на индикаторах получается пропорциональной величине крена. Задача летчика остановить движение цилиндров путем слежения рукояткой управления за движущимися полосами.

Сигналы паравизуальных индикаторов адресованы периферическому зрению. Исследования показали, что, глядя на землю или на другие индикаторы, летчик не только может воспринимать показания этих приборов, но и некоторое время пилотировать самолет, получая сигналы периферией сетчатки. Использование паравизуального индикатора облегчает распределение внимания в полете по приборам и способствует увеличению лимита времени летчика. Паравизуальные индикаторы расширяют возможности восприятия информации: опыт показывает, что их сигналы обладают большой привлекающей силой. При малейших отклонениях самолета от Траектории полета, эти сигналы привлекают внимание летчика и заставляют исправлять ошибку.

Компанией "Колинз" предложен несколько видоизмененный паравизуальный директорный прибор, который имеет один индикатор, расположенный на верху приборной доски [83]. Он выдает команды одновременно по боковому и продольному управлению. Этот паравизуальный прибор состоит из двух концентрических барабанов с нанесенными на их поверхности белыми спиралями. Каждый из барабанов вращается отдельным мотором. Взаимодействие двух спиральных полос, нанесенных на каждый цилиндр, образует белые ромбы на черном фоне, которые, в зависимости от работы одного или обоих моторов, могут двигаться вверх, вниз, вправо, влево или по диагонали. Чтобы остановить движение ромбов, летчик должен двигать ручкой управления самолетом в том направлении, в котором движутся ромбы. Скорость движения ромбов указывает с какой скоростью должно совершаться движение рукоятки. Испытание прибора показало эффективность его использования: малейшее движение белых ромбов, сигнализирующее, что самолет имеет тенденцию изменить заданную траекторию полета, привлекает внимание летчика, даже если он отвлекся от приборов для поиска наземных ориентиров. Индикация позволяет летчику устранять отклонения самолета от заданного режима полета одновременно относительно его продольной и поперечной оси.

## 5. Приборные панели

При конструировании приборных панелей необходимо учитывать характеристики пространственного видения оператора.

Одной из важных таких характеристик является поле зрения, определяемое пространством, которое может видеть неподвижный глаз. Поле бинокулярного зрения для объектов боллого цвета на темном фоне составляет: по горизонтали  $\pm 60^\circ$  /по некоторым данным  $\pm 90^\circ$ /, а по вертикали - вверх  $65-78^\circ$ , вниз  $55-60^\circ$ .

С ухудшением освещенности, а также с сокращением времени обзора, поле зрения концентрически сужается. На границах поля зрения человек способен замечать только появление объекта, но не в состоянии воспринимать его форму.

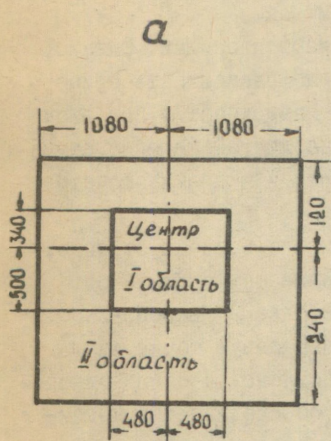
А.Спирина и А.Наринская [по 34] изучали возможности чтения приборов, расположенных на периферии поля зрения. Они установили, что человек в среднем способен различать положение стрелки на приборе, расположенном от центра влево примерно на  $43^\circ$ , а вправо - на  $29^\circ$ . С увеличением размеров приборов, это поле расширяется.

Вопрос о точности и скорости отсчетов показаний приборов на приборных панелях исследовался А.Ф.Пахомовым и А.М.Измаильцевым [55]. Они установили, что с удалением прибора от центра поля зрения точность и скорость его правильных отсчетов падает /фиг. 42 б/. Они выделили две области приборной панели:

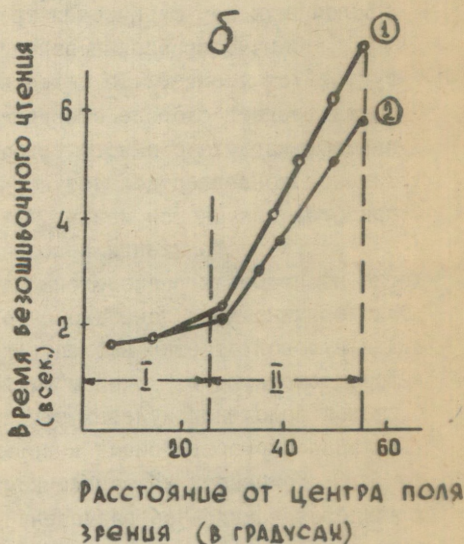
1. Область, в которой оператор видит периферическим зрением стрелки всех приборов, поэтому зрительные оси всегда поворачиваются в направлении того прибора, показания которого изменились. Здесь для перевода в зону фо-веального зрения требуются только установочные движения глаз.

2. Во второй области наблюдатель не видит приборов, так как они расположены за пределами поля, в котором чело-

век способен различать форму предметов. Прежде чем отсчитать показания прибора, расположенного в этой области, человек совершает поисковые движения глаз. Этим объясняется резкое увеличение времени отсчетов приборов при их удалении от центра. Исходя из полученных данных, авторы определили границы первой и второй области для дистанции наблюдения 80 см /фиг. 42 а/. Эти данные могут лечь в основу выбора размеров приборных панелей.



Размеры панели  
в мм



Фиг. 42. а/ Оптимальные размеры приборной доски.  
б/ Характеристики времени безошибочного чтения, как функция расстояния прибора от центра поля зрения /по А.Ф.Пахомову и А.М.Измайльцеву/ I - время отсчетов приборов в левой части панели, 2 - время отсчетов приборов в правой части панели.

Таким образом, при компоновке приборных панелей следует устанавливать приборы, требующие наибольшего контроля, в центральную область приборной доски /соответст-

вующую зону фовеа/, так как в этой зоне оператор с высокой разрешающей способностью и точностью читает показания приборов.

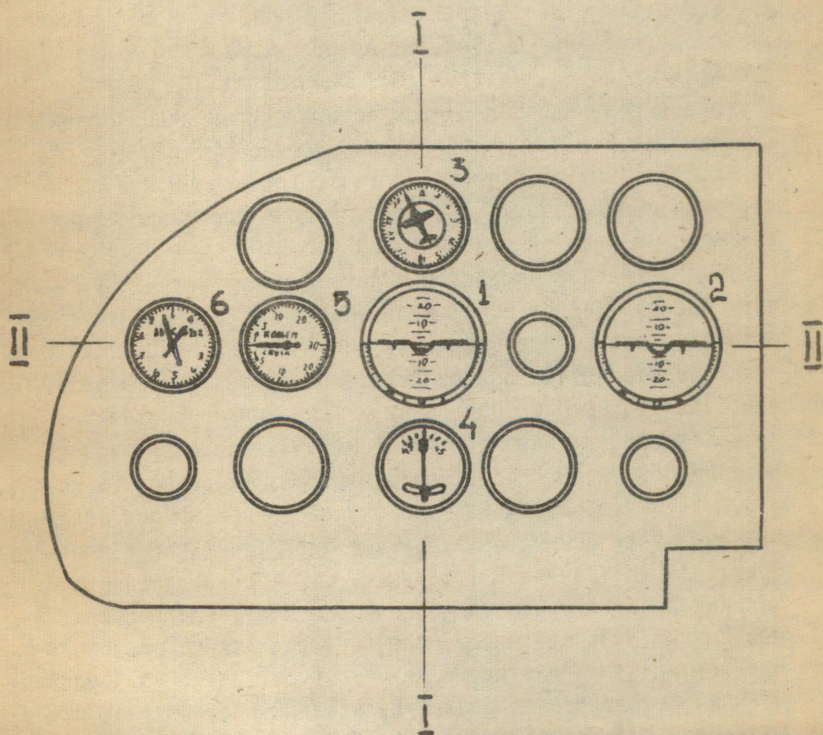
Периферическая часть поля зрения характеризуется высокой чувствительностью к движению и мельканиям раздражителя. Ее основной функцией Б.Ф.Ломов [34] считает обнаружение появляющихся сигналов без их четкого различения. Применение паравизуальных приборов, очевидно, позволит эффективно использовать область приборной панели, воспринимаемую периферическим зрением.

Обычно приборные панели делают плоскими. Однако, существует мнение, что более выгодно располагать приборы по внутренней стороне сферической поверхности. При этом перевод взгляда с одного прибора на другой не требует изменения конвергентной установки зрения и время отсчетов приборов получается меньше.

Скорость чтения приборов сильно зависит от того, где на приборах расположены начальные точки отсчетов. Экспериментально доказано, что наиболее целесообразно для нулевой отметки выбирать крайнюю левую точку шкалы /соответствующую "9 часам"/. Установлено, что при однообразном положении нулевых отметок, обеспечивается максимальная скорость приема и передачи информации человеком.

Важнейшим критерием компоновки приборных панелей является правильное размещение приборов с точки зрения их использования в процессе управления. Приборы должны размещаться в соответствии с логикой деятельности оператора, группироваться по назначению. Так приборы, выдающие информацию об одном и том же параметре /или его производных/, связанные с одной и той же задачей, должны устанавливаться рядом и выделяться в одну группу. Приборы, обладающие высокой значимостью, находящиеся под постоянным контролем, следует располагать в центральной части приборной панели. Примером расположения приборов, соответствующего логике действий оператора, может служить приборная доска летчика. Один из принципов размещения на ней приборов исходит из того, что указатели различных индикаторов

следует располагать либо по горизонтальной линии /если управление параметрами осуществляется продольными движениями рукоятки/, либо по вертикали /если управление параметрами осуществляется боковыми движениями рукоятки/ [84] На фиг. 43 показана приборная доска, построенная по такому принципу. Приборы, фиксирующие разворот самолета по курсу, расположены на одной вертикали /I/, приборы, контролирующие изменение высоты самолета, расположены на одной горизонтали /II/.



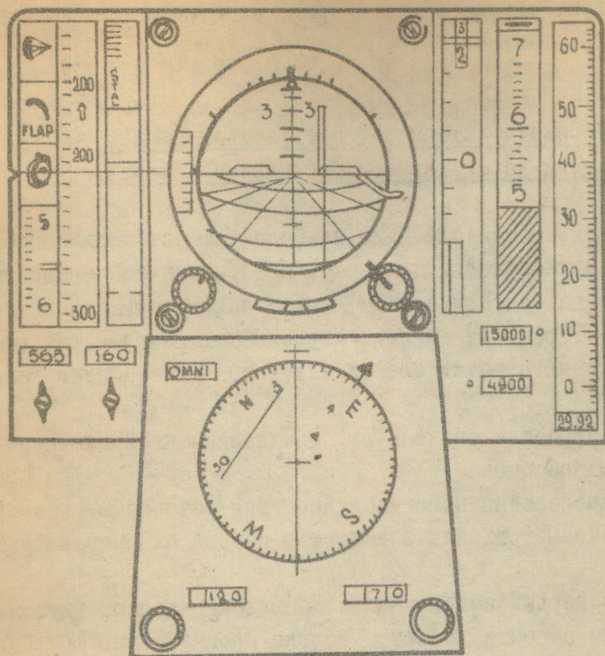
Фиг. 43. Пример рационального расположения пилотажных приборов на приборной доске летчика I—основной авиагоризонт, 2—резервный авиагоризонт, 3—указатель курса, 4—указатель поворота, 5—вариометр, 6—высотометр.

При компоновке приборных панелей следует согласовывать расположение приборов с расположением механизмов, контролируемых отдельными приборами. Матоушек [по 34] показал, что если это правило нарушается, то для оператора возникают трудности по соотношению элементов машины с информацией о ее работе: такие трудности влекут за собой ошибочные действия оператора.

При разработке приборных панелей часто бывает актуальным вопрос об уменьшении их габаритов. Одним из путей его решения является уменьшение размеров приборов. Но этот путь не всегда приемлем, так как он иногда влечет за собой ухудшение читаемости приборов. Некоторые авторы /Бойко, Даревский, Завялов [5]/ предлагают для решения вопроса использовать поочередное высвечивание нескольких шкал на одном и том же экране электронно-лучевой трубки. Однако такой путь ограничен сложностью технической задачи, а подобный метод представления приборной информации пригоден для каждой системы.

Увеличение скоростей полета и рост числа контролируемых параметров обусловили появление на самолете принципиально новых способов индикации. На современном скоростном самолете летчик должен делать в 3-6 раз больше отсчетов, чем это было на самолетах с меньшими скоростями. Временные ограничения при большом объеме передаваемой информации обусловили появление интегральных приборных досок, где на небольшой площади сконцентрированы все основные указатели режима полета. Такую приборную доску предложила фирма "Бендикс" [85] /фиг. 44/. Около основного индикатора авиагоризонта расположены ленточные вертикальные шкалы, окна счетчиков, где выдаются данные, необходимые летчику для пилотирования самолетом. Здесь же, несколько ниже, смонтирована шкала указателя курса, под ней имеются окна, где даются цифры, показывающие пройденный путь. Все эти приборы воспринимаются как один общий индикатор режима полета.

Необходимость постоянно сочетать функции контроля



Фиг. 44. Интегральная приборная доска с вертикальными шкалами.

за пилотажными приборами с непосредственным визуальным контролем за внекабинным пространством обусловила появление в последние годы системы индикации, основанной на принципе "смотри вперед" [85] .

В этой системе на переднее стекло кабины самолета проецируются шкалы пилотажных приборов и данные о параметрах полета. Летчик воспринимает такую приборную информацию, не отвлекаясь от контроля за внекабинным пространством, не опуская головы для отсчетов показаний приборов. Ценным качеством такой системы индикации является легкость перехода с приборного на визуальный полет. Особенность проецируемого на стекле изображения состоит в том, что оно сфокусировано на бесконечность, поэтому, когда

летчик смотрит через стекло вперед, приборная информация оказывается в фокусе.

#### 6. Передача информации посредством воздействия на слуховые и тактильные анализаторы

Речь является одним из наиболее эффективных способов передачи информации человеку. Восприятие ее человеком обусловлено как акустическими, так и лексическими и грамматическими характеристиками. Изучение характеристик речевых сообщений с точки зрения инженерной психологии важно для:

- разработки аппаратуры, предназначенной для передачи речевых сообщений,
- определения принципов действия устройств, воспринимающих речевые сигналы в качестве команд для управления машиной.

Если первый аспект задач достаточно хорошо изучен, то во втором аспекте делаются только первые шаги.

Основными акустическими параметрами речевого сигнала является интенсивность, частота составляющих гармоник и длительность. Субъективно они воспринимаются как громкость, высота и качество звука, а также длительность звукового сигнала. Остановимся кратко на этих характеристиках речи [по 34].

Оптимальный динамический диапазон интенсивности речевых сигналов 60-90 дБ /пиковые уровни могут достигать предельной величины 134 дБ/. Весь спектр речевых знаков находится в пределах примерно от 100 до 7 000 гц. Средняя частота, характерная для мужского голоса - 1 900 гц, для женского - 1 660 гц. Срезание частот ниже или выше этих средних значений снижает разборчивость речи вдвое. Достаточно хорошая разборчивость речи обеспечивается при передаче ее в диапазоне 250-3 500 гц.

Разборчивость речи зависит от длительности произношения звуков /для гласных в среднем она примерно 0,35 сек,

для согласных — от 0,02 до 0,3 сек/, от темпа произношения слов /оптимальный темп — 120 слов в минуту/.

Восприятие речевых сигналов может существенно изменяться в условиях помех, причем чем ближе частота помех к частоте речевого сигнала, тем сильнее эффект помех. Чтобы речевые звуки были понятными, их интенсивность должна превышать интенсивность шумов, примерно, на 6 дб. Помехи приему речи могут создаваться за счет реверберации — отражение звуков от окружающих предметов и за счет наложения одних речевых сообщений на другие.

На точности восприятия речевых сигналов отражается организация речевого сообщения. Доказано, например, что точнее опознаются более длинные слова, так как, по сравнению с односложными словами, они обладают большим числом опознавательных признаков. Помехоустойчивость передачи речи возрастает с ограничением объема используемого словаря, наличием логической связи между передаваемыми словами. Лучшей передаче слов способствует объединение их во фразы. Однако при этом число слов во фразе не должно превышать 11. Б.Ф. Ломов [34] отмечает, что процесс восприятия речевых сообщений является сложным многоуровневым процессом: "При восприятии отдельных слогов и слов существенное значение имеют их фонетические характеристики; при восприятии словосочетаний в действие вступают синтаксические зависимости, а фонетические отступают на второй план; при восприятии фраз начинают доминировать характеристики их структуры, которые подчиняют себе более низкие уровни".

Значительная перегрузка зрительного, а иногда и слухового канала восприятия выдвигает необходимость использования для передачи информации человеку других сенсорных каналов. В последнее время предпринимаются попытки использовать для передачи сигналов тактильный канал. Экспериментально доказано, что осязательные образы формируются на основе синтеза массы тактильных и кинестетических сигналов. Так как осязательное восприятие есть развернутый процесс, скорость приема информации по этому каналу не велика. Однако, в процессе тренировок роль тактильного анали-

затора может быть повышена. А.В.Филиппов [73] разработал систему легко распознаваемых геометрических выпуклых фигур, которые наклеивались на клавиши линотипа. После некоторой тренировки, линотиписты осуществляли набор, ориентируясь по тактильным сигналам от прикосновения пальца к клавише, при минимальном контроле зрения. При этом точность и скорость их действий заметно повысилась.

Установлено, что с помощью вибрации, при удачной системе кодирования, человек способен воспринимать 67 пятибуквенных слов в минуту, что соответствует пропускной способности тактильного канала 3 бит/сек.

Проводились специальные эксперименты по использованию тактильного канала для передачи некоторых команд оператору. Посредством двух электродов, подсоединенных к правой и левой части тела, оператору передавались соответствующим образом модулированные электрические сигналы, несущие определенную информацию. При этом операторы достаточно хорошо распознавали сигналы, поступающие справа и слева и передаваемые ими сообщения.

## УП. УПРАВЛЯЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА

В предыдущей главе были рассмотрены способы и средства передачи оператору осведомительной информации о параметрах работы машины. В данной главе мы остановимся на вопросах обратного воздействия оператора на машину, т.е. на способах и средствах передачи командной информации от оператора к машине.

В современных системах управления оператор воздействует на машину как правило посредством двигательных актов — перемещением органов управления. Можно управлять машиной, как уже отмечалось, и посредством речевых сигналов. Машины с таким управлением являются весьма перспективными, над их созданием сейчас ведутся работы. Однако, для разработки подобных машин требуется решить еще много различных вопросов. К тому же не во всех системах возможно и целесообразно использовать для управления речевые команды.

В данной главе мы ограничимся рассмотрением только моторных управляющих действий оператора.

С техническим совершенствованием систем управления существенно изменились требования к моторике оператора. Упростилось содержание двигательных задач, действия оператора свелись к нажатию кнопок, включению тумблеров, повороту рукояток и т.п. Подобные движения, сами по себе, как правило не требуют специального обучения. Вся сложность управления переместилась с исполнительной части двигательных актов на центральные механизмы их регуляции. Выполнение того или иного управляющего действия оказалось обусловленным переработкой большого объема информации, от успеха которой стали зависеть результаты последующего двигательного акта. Поэтому исследование характеристик двигательного акта приходится вести в неразрывной связи с анализом психических процессов, определяющих движение. Следует от-

метить, что в отдельных системах оператор встречается с задачами, которые требуют не только сложной предварительной обработки большого объема информации, но также быстрого их решения и точной реализации этих решений в движении. Эффективность работы подобных систем в значительной мере обусловлена степенью согласования моторного "выхода" оператора с конструкцией органов управления.

Исследование характеристики двигательного акта оператора представляет интерес также с точки зрения технического и теоретического моделирования человеческих функций. Причем в моделировании не только используются результаты инженерно-психологических исследований, но и продолжается их разработка и углубление.

### I. Характеристики рабочих движений оператора

Данные об основных параметрах рабочих движений человека постепенно накапливались в различных областях науки: биомеханике, динамической антропометрии, физиологии, психологии труда. Эти сведения представляют интерес для инженерной психологии и могут служить отправными точками при конструировании органов управления. Остановимся на некоторых из этих данных, систематизированных Б.Ф. Ломовым [34]

Скорость движения руки может изменяться в больших пределах: от 0,01 см/сек /движения пальцев при точной регулировке/ до 8 000 см/сек /движения кисти при метании/. В большинстве производственных операций движения выполняются со скоростью от 5 до 800 см/сек.

При прочих равных условиях, движения рук в направлении "к телу" быстрее чем в направлении "от тела". Однако, последние более точные. Скорость движений в вертикальной плоскости больше, чем в горизонтальной. Наибольшей скоростью обладают движения "сверху вниз", наименьшей - "от тела" и "снизу вверх". Скорость движения "слева направо" /для правой руки/ несколько больше, чем скорость движения

в обратном направлении.

Вращательные движения совершаются примерно в полтора раза быстрее, чем поступательные. Движения с большей амплитудой обычно совершаются с большей скоростью. С точки зрения экономии усилий, более совершенными является движение, производимое с максимальной начальной скоростью, которая постепенно уменьшается /"толчком"/.

Существуют данные, определяющие максимальные зоны движения различных органов тела: рук, ног, туловища, а также их частей. Так, максимальное рабочее пространство руки /при неподвижном положении туловища и ног/ приближается к полусфере, радиус которой соответствует ее длине. Однако, с точки зрения экономии энергии и обеспечения большей точности и плавности движений, рациональнее использовать движения в зоне среднего диапазона.

Наличие значительного числа степеней свободы дистальной<sup>х/</sup> части руки обеспечивает большую универсальность ее исполнительных функций. Однако, среди рабочих движений имеются наиболее выгодные. Плавные эллиптические и круговые движения более полно отвечают радиальной форме перемещения звеньев человеческого тела в пространстве. Это нужно учитывать при выборе траекторий движения органов управления.

Целесообразно располагать органы управления на высоте 100-105 см от пола, чтобы они находились в районе поясницы оператора /для работы стоя/. Если управление требует больших усилий /8-12 кг/, то лучше расположить орган управления несколько ниже /85-90 см от пола/, в этом случае в работу тела будет вовлекаться большая группа мощных проксимальных мышц.

При конструировании органов управления важно предусмотреть соответствующие нагрузки, которые придется преодолевать оператору при их перемещении. Для этого нужно

---

<sup>х/</sup> Дистальный от лат. *disto* - отстоя. Термин используется в анатомии для обозначения положения органов или пунктов тела, удаленных от его срединной плоскости, в противоположность проксимальному /от лат. *proximus* - ближайший/.

знать силу, с которой оператор может производить движения. Одновременно нужно учитывать требуемую точность и скорость двигательных реакций, т.к. с ростом нагрузки на органах управления растет время реакции и изменяется точность движений.

Имеются данные по силе правой и левой руки, развиваемой при выполнении движений в различных плоскостях и направлениях. Наибольшая сила развивается при толкании от себя и вытягивании на себя. Причем, в зависимости от индивидуальных качеств операторов, силовые параметры могут изменяться в два-три раза и более. Поэтому иногда рекомендуют /Мак Ферланд/ при расчетах органов управления исходить из показателей более слабых людей, т.к. в критических ситуациях даже средний человек иногда не в силах выполнить движения, требующие большой силовой нагрузки.

В некоторых системах управления иногда отсутствует возможность в процессе двигательного акта осуществлять его зрительный контроль. Поэтому для инженерно-психологических исследований представляют интерес данные о возможности различения человеком /без участия зрительного контроля/ направления, размаха, длительности и силы движения.

Г.Х.Кекчев [27] показал, что наиболее точные кинестетические ощущения характерны для движений, совершаемых на расстоянии 15-35 см от средней точки тела. Уже на расстоянии 40-50 см точность анализа снижается.

П.Фиттс [по 34] исследовал точность попадания руки на орган управления, расположенный в различных плоскостях относительно тела оператора. Наибольшая точность движений /без зрительного контроля/ была в плоскости оси симметрии тела. С увеличением отклонения от этой плоскости точность постепенно снижалась, причем правая рука действовала точнее в правой области, чем левая в левой. Наилучшая пространственно-двигательная ориентировка была на уровне ниже груди. На основании проведенных исследований Фиттс предложил органы управления располагать на расстоянии один от другого не менее чем 15-20 см в средней зоне моторного поля оператора и 30-40 см в крайних зонах.

Исследования по оценке амплитуды движения показали, что короткие движения, как правило, переоцениваются, а длинные — недооцениваются /граница, разделяющая короткие и длинные движения лежит в пределах 8-15 см/. Движения же направленные сверху вниз всегда переоцениваются.

Точность различения временных параметров движения заметно уступает точности различения его пространственных признаков. Причем эти характеристики оказались взаимосвязанными. Так, медленные движения оцениваются с большими ошибками как по различению длительности, так амплитуды и направления.

Выработка умения точно оценивать временные интервалы является одним из основным психологических качеств операторов многих систем управления. Так, для летчика при пилотировании самолета очень важно согласовывать управляющие действия с временем цикла регулирования, учитывая инертность приборов, органов управления и самолета.

Возможности оператора распознавать различные силовые нагрузки исследовались во многих работах. По мнению Бейтса [по 34] ощущение величины усилия является основной входной величиной в системе регулирования движения. Скорость он рассматривал как простой интеграл от силы, а смещение — как двойной интеграл. Поэтому регуляцию движения по силе, он считал более простой задачей, чем по скорости и величине.

Вопрос дозирования усилий исследовался Г.В.Суходольским [68]. Он показал, что оператор с большей точностью способен сохранять одно и то же усилие, чем изменять усилие в определенных пределах. Специальные тренировки позволяют существенно повысить точность регулирования усилий. Так, если до тренировки пороги различения веса и нагрузок находились в пределах 1-10%, то после тренировки различение веса осуществлялось уже с точностью до 1%.

При исследовании характеристик движения правой и левой руки установлено их функциональное различие. По моторным функциям в 90% случаев правая рука оказывается ведущей. Но по сенсорным функциям между возможностями рук су-

ществуем более сложное различие. По пространственно-двигательной ориентировке более развита кинестезия правой руки, по уровню же различения статических напряжений, по тактильной чувствительности и скорости осязания — более развита левая рука.

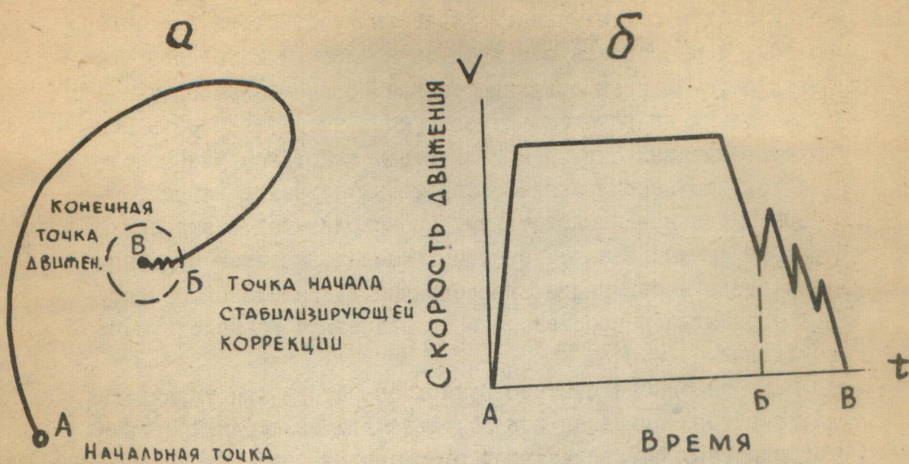
Перечисленные сведения о параметрах двигательного аппарата человека и возможности его самооценки позволяют указать лишь самые общие требования к конструкции органов управления, основанные главным образом на механических свойствах движения. Полное же решение вопроса о выборе оптимальных параметров органов управления возможно только при учете, наряду с двигательными возможностями человека, характеристик всего механизма двигательного акта.

## 2. Механизмы регуляции движения

А.И.Назаров [44] исследовал переменные, влияющие на характеристики движений оператора. Как известно, общее время двигательного акта, выполняемого в ответ на пусковой сигнал, состоит из трех фаз:

- времени проведения нервных импульсов от рецептора до центральных отделов нервной системы,
- времени переработки этой информации и организации ответной реакции,
- времени движения.

Время движения можно разделить на две части: динамическую и стабилизирующую. Для исследования составляющих времени движения Назаров провел следующий опыт. Перед оператором ставилась задача перемещать орган управления таким образом, чтобы совместить связанную с ним подвижную точку на экране с какой-то другой точкой, движущейся на том же экране. Он получил траекторию движения /фиг. 45/. Динамический участок был образован макродвижением от точки А до точки Б. Эта часть движения обычно характеризуется плавностью траектории и большой скоростью. Стабилизирующая часть /участок БВ/ образуется рядом микродвижений в районе



Фиг. 45. Элементы двигательного акта;  
 а/ траектория движения,  
 б/ характеристика изменения скорости движения /по А.И.Назарову/.

стационарной точки, которые характеризуются импульсивностью и колебаниями скорости. При переходе динамической фазы к стабилизирующей, наблюдается замедление основного движения. Автор отмечает, что у операторов с развитыми двигательными навыками стабилизирующая фаза выражена очень незначительно или даже вовсе отсутствует. Напротив, у тех операторов, которые еще не приобрели навыки слежения, в движении преобладает стабилизирующая фаза – все их движения состоят из множества импульсивных микродвижений. Очевидно, формирование двигательных навыков можно представить, как переход от стабилизирующего управления к динамическому.

Каков же механизм психической регуляции движения? Различным управляющим сигналам, поступающим к оператору, часто соответствуют совершенно одинаковые двигательные реакции. Так, летчик реагирует на отклонение самолета от курса и появление крена одним и тем же движением рукоятки

управления. Бывает и наоборот, когда одному входному сигналу соответствуют разные управляющие действия. На сигнал о том, что скорость самолета мала, летчик может реагировать перемещением руля высоты или перемещением рычага управления двигателем. Существующая неоднозначность между управляющим сигналом и ответным действием указывает на то, что переключение афферентных сигналов на регуляторы, управляющие действием, происходит под контролем особой функциональной системы. Назначение этой системы состоит в мобилизации определенной двигательной структуры организма в соответствии со значением воздействующих сигналов.

На основе синтеза нужных оператору для управления афферентных сигналов и в соответствии со стоящей задачей от системы, осуществляющей этот синтез, информация поступает на регуляторы ответных движений /фиг. 9/. Туда поступают сигналы, управляющие направлением, скоростью, ускорением движения и т.п. Однако, вся трудность дальнейшего управления движением состоит в том, что в системе афферентного синтеза не могут вырабатываться такие точные сигналы, которые бы с первого же раза обеспечили нужную точность движения. Поэтому после запуска эффекторной системы — после начала моторного действия, происходит непрерывная корректировка, направленная на устранение несогласования между фактическими и заданными значениями параметра движения.

Другим фактором, определяющим организацию двигательного акта, является появление у оператора образа /представления/ самого движения. Прежде чем у него выработается автоматизм в движениях, присутствие такого образа движения уже может определить успех управляющего действия.

Сложность управления двигательным актом человека в значительной мере обусловлена строением его двигательного аппарата, во много раз более сложного, чем у животных. Двигательный аппарат человека обладает огромным чис-

лом степеней свободы. Так, кисть руки относительно плечевого сустава имеет 7 степеней свободы, а кончик пальца относительно стоп ног - 30. К сложности скелетного двигательного аппарата добавляется сложность структуры и динамики мышц. Поэтому человеческая рука представляет собой многоканальную систему с обратными связями, в которых существенную роль играют кинестетические и тактильные анализаторы. Точность и скорость движения руки определяется не столько свойствами мышечной ткани и строением суставов, сколько процессом взаимодействия движения мышц и суставов, циркуляцией управляющей информации. Благодаря регулирующему воздействию системы афферентного синтеза, преодолеваются избыточные степени свободы движущегося органа и обеспечивается координация движений.

Б.Ф. Ломов [34] показал, что любое, даже самое простое, управляющее действие складывается из массы элементарных движений, объединенных механизмом регуляции в целостную структуру. Эти движения по их функциям он разделил на три группы.

К первой группе относятся собственно рабочие /или исполнительские/ движения, посредством которых осуществляется воздействие на объект.

Ко второй группе - гностические движения. Они направлены на познание объекта и условий действия. Сюда входят ощупывающие /осязательные/, измерительные, пробующие и контрольные движения.

Третью группу составляют приспособительные движения. К ним относятся установка рабочей позы руки, корректирующие движения /позволяющие по ходу действия исправлять возникающие ошибки/, уравнивающие движения /обеспечивающие устойчивость и пластичность рабочей руки/.

В процессе формирования навыков взаимоотношения между этими видами движений изменяются. На первой ступени обычно преобладают гностические движения. Позднее они редуцируются и настолько тесно сливаются с рабочими движениями, что их трудно бывает разделить. В результате, движения ста-

новятся более плавными и стабильными. Приобретение навыков в процессе упражнений состоит не просто в повторении движений, а в обогащении с каждым новым движением сложившейся системы регуляции двигательным актом новыми кинестетическими и тактильными сигналами. На основе этих сигналов осуществляется та сенсорная коррекция актов движения, о которой мы говорили выше.

Исследования показывают, что если на начальных ступенях образование навыка движения протекает под контролем зрения, то впоследствии этот контроль все более переходит к чувствительным приборам двигательного аппарата — к кинестетическим и тактильным ощущениям. Как отмечает В.Е.Бушурова [7], в ходе формирования навыка кинестезия как бы "вбирает в себя опыт других сенсорных модальностей". При этом образуется внутренний контур регулирования, определяемый действием кинестетического и тактильного аппаратов, в котором сигналы проходят значительно быстрее /за 0,4 сек/, чем по внешнему контуру регулирования, включающему зрительный контроль /0,1-0,2 сек/.

Н.А.Розе [62] показала, что двигательный акт складывается из массы микродвижений, совершаемых как в контакте, так и вне контакта с органом управления. Значительная доля принадлежит осязательным микродвижениям, с помощью которых отражается форма и сопротивление органа управления /что важно при организации хватки и регулировании усилия/, а также уравнивающим движениям. Было установлено, что обычно большой, средний и безымянный пальцы часто выполняют гностические движения, а безымянный и мизинец — приспособительные. Однако, нет однозначной связи вида движения с определенным пальцем. Можно предположить, что каждое микродвижение порождает элементарный кинестетический сигнал, необходимый для регуляции всего двигательного акта. С усложнением двигательной задачи дробность движений возрастает, а, следовательно, увеличивается и количество элементарных кинестетических сигналов, что, по-видимому, важно для последующего синтеза движений и об-

разования целостной сложной структуры.

Из рассмотрения механизма регуляции движения следует, что при конструировании органов управления нужно учитывать особенности не только собственно рабочих, но также гностических и приспособительных движений. Для оператора наиболее удобны будут те органы управления, которые обеспечат оптимальное соотношение между перечисленными видами движений.

### 3. Теоретико-информационный подход к оценке времени двигательного акта

Успешное применение теоретико-информационного метода к исследованию характеристик времени реакций естественно привело к попыткам применить этот метод для выявления связи между временем двигательного акта и количеством информации. Такие экспериментальные исследования провели Фиттс и Петтерсон [74].

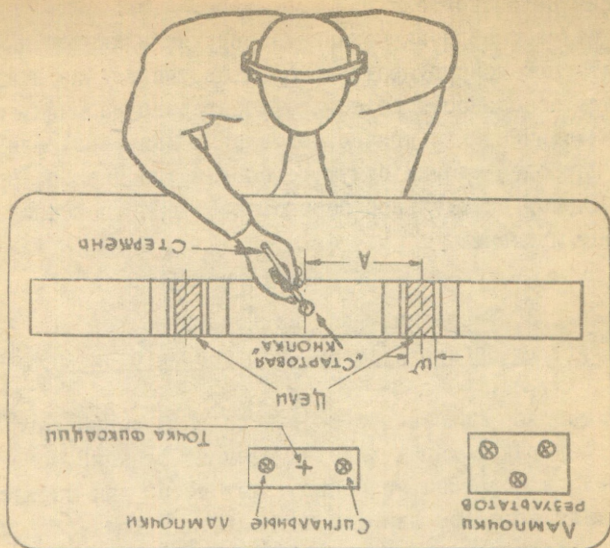
В экспериментах использовалась установка, схема которой приведена на фиг. 46. Испытуемый держал в руке легкий металлический стержень и смотрел в точку, расположенную против него между двумя сигнальными лампочками. При загорании левой или правой лампочки испытуемый должен был немедленно "накрыть" стержнем соответствующую левую или правую цель. Слева от испытуемого имелось табло с лампочками, указывающими о попадании в цель, перелете или недолете. Ширина и положение целей могли изменяться.

В качестве теоретической основы авторы приняли теорему Шеннона, определяющую пропускную способность канала связи /3.10/:

$$C = W \log \frac{P + N}{N}.$$

Чтобы применить эту формулу к решению задач двигательного акта, авторы, проводя соответствующие аналогии, вводят предположения:

— средняя амплитуда движения руки /А / рассматри-



Фиг. 46. Схема установки Фиттса-Петтерсона.

зается как суммарная величина сигнала и шума;

- изменчивость движения /  $n$  / рассматривается как эквивалент пиковой амплитуды шума;

- трудность двигательной задачи /  $JD$  / ассоциируется с пропускной способностью информации.

Исходя из указанных предпосылок, авторы приходят к зависимости:

$$JD = \log_2 \frac{A}{n}$$

В условиях эксперимента допускаемый диапазон ошибки движения определяется шириной цели /  $w$  /. Чтобы попасть в этот диапазон, изменчивость движения должна укладываться в пределы:  $nv = \frac{w}{2}$ , поэтому последнюю зависимость можно представить в виде:

$$JD = \log_2 \frac{2A}{\omega}.$$

Фитце и Петтерсон, по аналогии с законом Хикка, выдвинули гипотезу, что при данной трудности /  $JD$  / среднее время движения /  $MT$  / будет постоянным, независимо от значений  $A$  и  $\omega$  :

$$\frac{JD}{MT} = C,$$

/здесь  $C$  рассматривается как характеристика, аналогичная пропускной способности/.

Расширяя аналогию авторы высказали предположение, что для различных условий трудности /  $JD$  / среднее время движения /  $MT$  / будет определяться следующей зависимостью:

$$MT = a + bJD, \quad /7.1/$$

/где  $a$  и  $b$  - постоянные/.

К опытам привлекались женщины в возрасте от 18 до 25 лет. По ходу эксперимента фиксировались значения латентной /  $RT$  / и моторной /  $MT$  / составляющих времени реакции.

Степень трудности двигательных задач регулировалась путем отдаления целей, т.е. изменения амплитуды /  $A$  / от 7,5 см до 30 см и изменения ширины целей /  $\omega$  / от 0,3 см до 2,5 см. В опытах варьировались вероятности стимулов: изменялась вероятность появления стимула по времени, а также вероятность появления одного из двух стимулов.

В результате исследований авторы установили статистически достоверную корреляцию между  $RT$  и  $JD$ , которую аппроксимировали формулой:

$$RT = 54JD + 261. \quad /7.2/$$

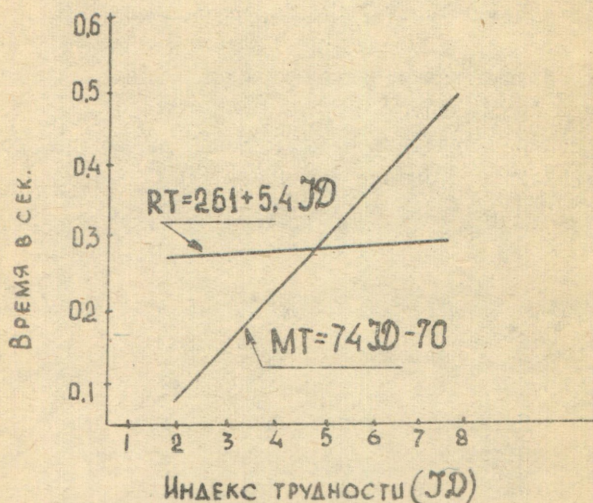
Как следует из формулы /7.2/ и фиг. 47, с увеличением сложности двигательной задачи время реакции /  $RT$  / меняется незначительно. Сложность двигательных задач существенно ска-

зывалась на значения  $MT$ . Связь между этими параметрами аппроксимировалась формулой:

$$MT = 74JD - 70.$$

/7.3/

Наилучшие результаты получились при средних значениях  $A$ ,  $\omega$ ,  $JD$  /.



Фиг. 47. Зависимость латентного /  $RT$  / и моторного /  $MT$  / периода времени реакции от индекса трудности задачи /  $JD$  /, полученная экспериментально Фиттсом-Петтерсоном.

Было установлено, что  $RT$  и  $MT$  могут подвергаться влиянию независимо одно от другого. Отсюда авторы сделали вывод о независимости перцептивных и двигательных процессов.

Авторы отмечают, что полученные результаты были подтверждены в последующих опытах Аннета, Глоби, Кейя, Кроссмана.

#### 4. Двигательные задачи, их классификация и характеристика

Двигательные задачи, решаемые оператором посредством органов управления, Б.Ф.Ломов [34] делит ориентировочно на 4 класса.

##### А. Операции включения, выключения и переключения.

Они строятся по принципу простых или дизъюнктивных двигательных реакций/ иногда реакций на движущийся объект/. Моторный компонент в этих реакциях, как было показано Н.А.Розе [62], складывается из сложных микродвижений пальцев и зависит от характеристик установочных движений. По ее подсчетам при нажатии на кнопку за 0,75 сек пальцы правой руки совершают более 60 микродвижений, при переключении тумблера за то же время - около 80.

Б. Двигательные задачи, состоящие из последовательности повторяющихся движений. Такие задачи решают операторы, осуществляющие кодирование перфокарт, радисты, работающие с телеграфным ключом, машинистки. Их движения могут быть ударными, нажимными, вращательными. Б.Ф.Ломов [34] приводит некоторые данные, характерные для таких движений.

Основным параметром повторяющихся движений является частота их повторения - темп. Было установлено, что максимальный темп вращательных движений ручек, маховиков для ведущей руки составляет 4,83 об/сек, для неведущей - 4 об/сек. На темпе сказываются размеры ручек и величина их сопротивления. Если сопротивление вращению минимально, наибольшая скорость достигается при ручке радиусом 3 см, при сопротивлении 5 кг - при ручке радиусом 4 см.

Максимальный темп нажимных движений при величине усилия 25 г для ведущей руки 6,68 нажимов/сек, для неведущей - 5,3 нажимов/сек. При увеличении усилия до 400 г различия уменьшаются и оказываются соответственно 6,14 и 5,59 нажимов/сек.

Максимальный темп ударных движений варьируется от

5 до 14 ударов в секунду. В среднем он равен 8,5 ударов/сек. Для продолжительного же периода работы, оптимальный темп 1,5-5 ударов в сек. Если ударные движения производить попеременно разными пальцами, то темп можно увеличить /интервал между движениями одного пальца 0,09 сек, между движениями разных пальцев одной руки 0,03 сек, а между движениями пальцев разных рук 0,02 сек/.

Оптимальная амплитуда отклонения пальцев при ударных движениях - 20 мм. Более эффективны движения, в которых участвуют не только пальцы, но и вся рука. Это обеспечивает лучшее использование приспособительных движений для повышения пластичности работающей руки.

По мере тренировки повторяющиеся движения становятся более ритмичными. Решающую роль в формировании ритма играет внутренний контур регулирования. Интервалы между некоторыми дискретными движениями могут приближаться к предельному значению - времени прохождения управляющего сигнала по внутреннему контуру.

В случаях, когда движения выполняются в ответ на внешние дискретные сигналы, внешний контур регулирования не может уже обеспечить столь большой темп. По данным Тэлфорда, человек способен реагировать на каждый сигнал только в том случае, если интервал между сигналами не менее 0,5 сек [ по 34 ]. Если второй сигнал подается через более короткий промежуток времени, то начало ответной реакции на него задерживается до завершения реакции на предшествующий сигнал. Приращение времени реакции на второй сигнал определяется:

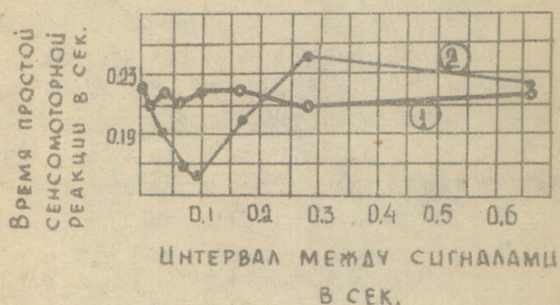
$$\Delta \tau_2 = \tau_1 - \Delta t,$$

где  $\Delta \tau_2$  - приращение времени реакции на второй сигнал,  
 $\tau_1$  - время реакции на первый сигнал,  
 $\Delta t$  - интервал между первым и вторым сигналом.

Данный эффект Тэлфорд назвал психологической рефракторной фазой. При высоком темпе сигналов происходит аккумуляция задержек и возникает "психологическая блокировка"

/Бил [по 34] /, проявляющаяся в пропуске сигналов и росте латентного периода времени реакции.

А.А.Крылов и А.Ф.Пахомов [33] показали, что при интервале между сигналами менее 0,09 сек, время реакции на второй сигнал сокращается, а затем возрастает, достигая максимума при интервале 0,27 сек /фиг. 48/. Сокращение времени реакции на второй сигнал при малых интервалах они объясняют так: второй сигнал испытуемый получает в период формирования ответа на первый; поэтому он отвечает сразу на временной комплекс двух сигналов парой реакций. При возрастании интервала между сигналами до 0,67 сек уже появляется возможность каждую реакцию осуществлять независимо.



Фиг. 48. Зависимость времени простой сенсомоторной реакции от интервала между сигналами /по А.А.Крылову и А.Ф.Пахомову/ 1 - время реакции на первый сигнал, 2 - время реакции на второй сигнал.

Увеличение темпа может быть достигнуто путем тренировок, в процессе которых оператор усваивает временную структуру сигналов и приобретает возможность их предвидения /антиципации/. Регуляция движения от отдельных сигналов постепенно переходит к их временному комплексу. В таком случае реакция оператора на последующий сигнал может начинаться до появления сигнала и до окончания реакции на предшествующий.

В. Дозирование движений по их силовым, пространственным и временным параметрам. Такие действия операторы осуществляют при настройке аппаратуры. Главное требование, предъявляемое к таким движениям, — точность дозирочных реакций.

Для настройки и точной регулировки обычно применяются рукоятки, управляемые вращательными движениями. Чапанис [по 34] изучавший возможности оператора точно задавать углы поворота, показал, что без визуального контроля наибольшая точность достигается при установке рукояток на  $0^{\circ}, 90^{\circ}$  и  $180^{\circ}$  /0 — расположен слева/. Положения между  $0^{\circ}$  и  $90^{\circ}$  дают небольшие постоянные положительные ошибки, а положения между  $90^{\circ}$  и  $180^{\circ}$  — отрицательные. То есть положения рукояток оцениваются как более вертикальные, чем они в действительности. В пределах  $0^{\circ}-90^{\circ}$  точнее задаются показания правой рукой, а в пределах  $90^{\circ}-180^{\circ}$  — левой. Ведущая роль в повороте рукояток принадлежит большому, указательному и среднему пальцам. Важным компонентом дозирочных реакций являются корректирующие движения, составляющие большую часть этого двигательного акта. Время затрачиваемое оператором на выполнение дозирочных реакций зависит от передаточного числа, т.е. от отношения между величиной поворота рукоятки и величиной возникающего при этом отклонения указателя на приборе. По данным Дженкинса и Коннора [по 34], с увеличением передаточного числа время рабочих движений сокращается, а корректирующих — возрастает. Оптимальным оказывается такое отношение, при котором полный поворот рукоятки дает перемещение указателя на 25–50 мм. По мере приобретения навыков, оператор "подстраивает" скорость движения рукоятки к скорости указателя. Таким образом происходит "преодоление" значения передаточного числа, сведение его влияния к минимуму.

Г. Слежение за изменяющимися объектами. Такие задачи, решаемые оператором, относятся к классу непрерывных перцептивно-моторных<sup>X/</sup> задач. Их решает летчик, выдерживающий по

X/ Перцепция /от лат. *perceptio* — познание/ — восприятие непосредственно воздействующих на органы чувств предметов и явлений реального мира.

приборам заданный режим полета, стрелок, совмещающий визир на прицельном устройстве с движущейся целью и т.п.

Задачи слежения принято разделять на два варианта:

– слежение с преследованием, когда оператор воспринимает весь ход изменения как входного, так и выходного сигнала и должен устранять их разницу,

– компенсирующее слежение, когда он решает ту же задачу, воспринимая только разность между сигналами,

Точность слежения с преследованием в 1,5–2 раза выше, чем компенсирующего, так как во втором варианте оператору сложнее контролировать свои действия и предвидеть ход изменения цели.

Точность слежения принято оценивать по времени, в течение которого визир совмещается с целью. Установлено, что преследующее движение даже в самом простом случае является дискретным.

Двигательный акт в условиях слежения за одномерным визуальным сигналом исследовали В.М.Водлозеров и Г.В.Суходольский [13]. Они установили, что операция слежения разделяется на два периода: переходный и установившийся. Для переходного периода характерно наличие запаздывания /которое растет с уменьшением скорости движения сигнала/, большое число пауз, обгонов или отставаний от сигналов. Этот период длится 2–3 сек. В установившемся периоде среднее время парциальных движений приближается к скорости метки.

Исследования подтвердили, что в первый период регуляции движений ведущую роль играет внешний контур /глаз-рука/. В результате сличения и усреднения сигналов рассогласования в течение первого периода, появляется возможность оценки скорости метки. От регулирования движения руки по положению метки испытуемый переходит к их регулированию по скорости; здесь участвует и механизм зрительной экстраполяции. Перестройке зрительного образа содействует активизация внутреннего контура регулирования /кинестетический, тактильный, анализатор – рука/. Благодаря этому движения становятся более плавными, а функция зрительной системы ограничивается контролем.

В установленном режиме, несмотря на невысокую точность слежения, деятельность оператора характеризуется высокой динамической устойчивостью, надежностью, что, очевидно, определяется особенностями психического регулирования.

+  
+        +

Остановимся кратко на связи характеристик движения оператора с выходными характеристиками системы.

Наиболее простым видом связи является такой, при котором между "выходом" оператора /  $x_0$  / и "выходом" системы /  $x_c$  / существует линейная зависимость:  $x_c = Kx_0$ , /где  $K$  - передаточное число/. Такие системы называются системами нулевого порядка. В качестве примера подобной связи можно привести связь между поворотом руля автомобиля и изменением его направления движения.

Более сложной является связь первого порядка, при которой сигналы "выхода" оператора регулируют скорость изменения "выхода" системы:  $x_c = k \int x_0 dt$ . Примером такой связи является связь ручки автопилота и положения самолета. С увеличением угла наклона этой ручки, растет скорость накренения самолета.

Еще более сложной является система второго порядка:  $(x_c = k \int \int x_0 dt^2)$ , здесь "выход" оператора определяет ускорение "выхода" системы. По такому закону, с изменением положения ручки управления самолетом, изменяется действующее на летчика ускорение. Так как одно и то же движение оператора в системах разного порядка дает разные эффекты, то требования к его точности и скорости очевидно оказываются не одинаковыми. Так, ошибка в системе второго порядка сказывается на работе системы значительно больше, чем та же ошибка, допущенная в системе нулевого порядка. Экспериментально установлено, что чем выше порядок системы,

тем больше ошибок допускает оператор и тем больше времени требуется для его обучения.

#### 5. Согласование органов управления с характеристиками деятельности оператора

В системе управления рука выступает как компонента системы "орган-орудие", которая в конечном счете определяет структуру двигательного акта.

Одним из первых критериев эффективности двигательного акта явился принцип экономии рабочих движений /Тэйлора, Джильберта [по 34]/. Он состоял из двух элементов: отсеивания тех движений, которые не являются безусловно необходимыми, и выбора из всех возможных движений наиболее коротких, требующих минимальных усилий. Этот принцип способствует более рациональной организации рабочего места, помогает изыскивать лучшие формы и расположения органов управления, однако в решении инженерно-психологических задач он не является главным. Часто при учете более весомых факторов, обусловленных закономерностями регуляции движений и решаемыми задачами, факторы экономии движений уходят на задний план.

Основные ошибки, допускаемые операторами при управлении машинами обычно обуславливаются не лишними движениями и усилиями, а тем, что конструкция пультов управления не обеспечивает оператору оптимальных условий выполнения поставленных двигательных задач.

Так как управляющие действия возникают в ответ на те или иные сигналы индикаторов, большое значение приобретает вопрос зависимости двигательного акта от соотношения сенсорного и моторного полей оператора. Исследования показали, что наиболее точными и быстрыми являются те движения, направление которых совпадает с направлением сигнала.

В исследованиях С.А.Паужайте [56] оценивалось соответствие отдельных шкал индикаторов определенным формам органов управления по скорости и точности дозировочных реак-

ций слежения, а также реакций на движущийся объект. Опыты показали положительное влияние на скорость и точность реакций соответствия формы шкалы и органа управления. Причем соответствие особенно сказывалось на длительности моторного компонента времени реакции.

Таким образом было сформулировано правило "реализма" в движениях органов управления, согласно которому наиболее высокая эффективность достигается при манипулировании органами управления, движения которых согласованы по пространственным и временным характеристикам с сигналами.

Л.М.Веккер и Е.Н.Сурков [8] изучали вопрос соответствия сенсорного и моторного полей на примере работы железнодорожного диспетчера. В эксперименте исследовалось три варианта расположения контрольного табло и пульта с тумблерами. Во одном варианте пульт с тумблерами был отдален от табло, но расположение тумблеров на пульте совпадало с расположением соответствующих стрелок на табло. Вторым вариантом отличался от первого тем, что тумблеры на табло были расположены в ряд. В третьем варианте тумблеры располагались под табло непосредственно под стрелками. Наиболее быстро и точно решались задачи в третьем варианте, такая же скорость решения задач была и в первом варианте, но при меньшей точности. Больше всего ошибок было допущено во втором варианте, где время решения задач было в 2,5 раза больше, чем в остальных вариантах. Авторы пришли к заключению, что важнейшим средством повышения точности и скорости оператора является структурное соответствие в расположении сигналов и органов управления /а не просто их близкое расположение/.

Согласование сенсорного и моторного полей приобретает особое значение в системах, где оператор действует в условиях острого дефицита времени. В качестве подтверждения этому можно привести примеры из практики работы летчиков.

На многомоторных винтовых самолетах предусмотрена специальная система флюгирования воздушного винта. В случае

отказа одного из двигателей эта система устанавливает лопасти винта этого двигателя по потоку воздуха так, чтобы винт выключенного двигателя не создавал тормозящей силы. Управление системой осуществляется с помощью специальных кнопок флюгирования. При нажатии на кнопку выключается двигатель и одновременно лопасти его винта устанавливаются во флюгерное положение. На самолете имеется световая сигнализация об отказе двигателя. Когда загорается красная лампочка, указывающая на отказ данного двигателя, летчик должен немедленно нажать на кнопку флюгирования этого двигателя, тем самым выключить двигатель и зафлюгеровать его винт. Лампочки, сигнализирующие об отказе двигателя, установлены в центре приборной доски, кнопки же флюгирования — на полке кабины — над головой летчика. Неоднократно бывали случаи, когда при отказе определенного двигателя и появлении на приборной доске сигнала об этом, летчики по ошибке нажимали кнопки флюгирования другого двигателя, т.е. выводили из строя и второй двигатель, тем самым еще более усугубляли аварийную обстановку. Решение вопроса было достигнуто путем согласования сенсорного и моторных полей: введением внутрь кнопок флюгирования сигнальных лампочек, включенных параллельно с основными сигнализаторами отказа двигателей. Теперь при отказе двигателя загорается сигнальная лампочка на приборной доске и в той кнопке флюгирования, которую следует нажимать. Благодаря такому усовершенствованию, были исключены случаи ошибочного флюгирования двигателей. Этот пример подтверждает результаты, которые получили Гарвей и Мэттик [по 34] при исследовании эффективности действий оператора. Они пришли к выводу, что наилучшим вариантом взаимоотношений сигналов и органов управления является такой, при котором информация используется там, где она возникает, т.е. место приложения действия совпадает с местом появления сигнала.

Форма органа управления должна быть согласована с задачами, которые решает оператор в системе управления. Покажем это на примере. На четырехмоторном самолете перед са-

мой посадкой предусмотрено уменьшение мощности внутренних двигателей. Управление каждым двигателем осуществляется соответствующим рычагом. У летчика имеется 4 рычага, два из которых он должен убрать перед посадкой. Посадка — наиболее нагруженный и сложный элемент полета. За короткое время летчик должен переработать значительный объем информации и выполнить целый ряд управляющих действий. Уборку рычагов двигателей летчик делает не отрываясь от приборов и пилотирования самолетом. Бывали случаи, когда летчики по ошибке перед посадкой убирали рычаги управления не средними двигателями, а двигателями, расположенными на одной стороне крыла, что представляло большую опасность для полета. Исключить подобные ошибки удалось изменив высоту и форму рычагов управления внутренними двигателями. Средние рычаги были сделаны выше, чем крайние и несколько иной формы.

При определении оптимального отношения органов управления к индикаторам важен вопрос о том, как связаны характеристики управляющего воздействия с тем или иным параметром сигнала. В одних случаях оператор должен воспроизводить в динамике движений динамику управляющего сигнала. Такую задачу выполняет летчик при полете по директорному прибору. В других случаях требуется перекодирование сигнала и преобразование его в определенную форму движения. Здесь примером может служить деятельность оператора, который на основе оценки показаний ряда приборов, принимает решение на те или иные двигательные операции. Очевидно от сложности взаимосвязи между "входным" и "выходным" сигналом будет зависеть точность и скорость регуляции движений.

Манипуляции с органами управления должны соответствовать сложившемуся на практике стереотипу действий оператора. Покажем важность этого фактора на примере. На современных сверхзвуковых самолетах предусмотрено изменение профиля крыла в зависимости от скорости полета. Для полета на больших скоростях крыло смещается назад и ему придается большая стреловидность; для полета на малых скоростях — наоборот, стреловидность крыла уменьшается. Для управления

стреловидностью крыла у летчика предусмотрена специальная рукоятка. В начале связь между движением этой рукоятки и крыла была такая: при движении рукоятки вперед, крыло смещалось вперед, при движении назад - росла стреловидность и крыло двигалось назад. Подобное "согласование", логичное, может быть, с точки зрения направления движения, оказалось совершенно неприемлемым для летчиков. При такой схеме для увеличения скорости полета летчик должен был рукоятку перемещать на себя. А это противоречило сложившемуся у летчиков устойчивому стереотипу - для увеличения скорости перемещать рукоятку вперед. Поэтому связь между движением рукоятки и крыла была изменена на обратную.

Проведенное рассмотрение показывает, что задачи выбора конструкции и расположения органов управления не могут решаться в общем или по какому-либо шаблону. Для каждого конкретного случая приходится выявлять переменные, определяющие оптимальную организацию двигательного акта оператора, как элемента обуславливающего эффективность действия всей системы "человек-машина" в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бардин К.В. Использование времени реакции для исследования сенсорных процессов. "Тезисы симпозиума об актуальных проблемах скорости реагирования", Тарту, 1967.
2. Берг А.И. О некоторых проблемах кибернетики. "Вопросы философии", 1960, № 5.
3. Бобнева М.И. К проблеме надежности человека. Сб. "Проблемы инженерной психологии", вып. 2, Л., 1965.
4. Бойко Е.И. Время реакции человека. Изд-во "Медицина", М., 1964.
5. Бойко Н.И., Даревский С.Г., Завялов Е.С. и др. К вопросу об использовании электронно-лучевых трубок в качестве многофункциональных индикаторов. Тезисы докладов научно-технической конференции. "Инженерная психология в приборостроении", Л., 1965.
6. Бриллиен Л. Наука и теория информации. Изд-во физматлит, М., 1960.
7. Бушурова В.Е. О взаимодействии анализаторов в формировании так называемого "чувства времени". Материалы Ленинградской зональной психологической конференции. Изд. Общ-ва психологов, Л., 1958.
8. Веккер Л.М., Сурков Е.Н. О соотношении структуры и локализации сенсорного и моторного полей в управляющих операциях. В сб. "Проблемы инженерной психологии", вып. 4, Изд. Общ-ва психологов, 1966
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд-во физматлит, М., 1962.
10. Винер Н. Кибернетика. Изд-во "Советское радио", М., 1968
11. Винер Н. Творец и робот. Изд-во "Прогресс". М., 1966.

12. Виноградов М.И. Физиология трудовых процессов. Изд-во ЛГУ, 1958.
13. Водлозеров В.М., Ломов Б.Ф. К вопросу о механизмах психической регуляции действий оператора, работающего в режиме слежения. Сб. "Проблемы инженерной психологии" /I Ленинградская конференция/, Л., 1964.
14. Геллерштейн С.Г. Чувство времени и скорость двигательной реакции. Медгиз, М., 1958.
15. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Изд-во "Наука", М., 1965.
16. Горбов Ф.Д. О помехоустойчивости оператора. Сб. "Инженерная психология", Изд-во МГУ, 1964.
17. Губинский А.И., Ломов Б.Ф. и др. Надежность и эффективность человека в системе управления. Тезисы докладов научно-технической конференции "Инженерная психология в приборостроении", Л., 1965.
18. Губинский А.И. О некоторых проблемах теоретико-информационного подхода в инженерной психологии. Сб. "Проблемы инженерной психологии". Вып. 2, Л., 1965.
19. Гувер Д. Совершенствование авиационных приборов по программе военно-морской авиации США. Сб. "Медицинские проблемы безопасности полетов", Воениздат, 1962.
20. Деревянко Е.А. Взаимоотношения между некоторыми физиологическими и психологическими факторами при развитии утомления в процессе трудовой деятельности. "Тезисы докладов на I съезде общества психологов". Вып. I, Изд-во АПН РСФСР, 1959.
21. Завалишина Д.Н., Пушкин В.Н. О механизмах оперативного мышления. "Вопросы психологии" № 3, 1964.
22. Завалова Н.Д., Пономаренко В.А. и др. Вопросы индикации параметров полета по приборам. Тезисы докладов

- научно-технической конференции. "Инженерная психология в приборостроении", Л., 1965.
23. Земан И. Познание и информация. Изд-во "Прогресс", М., 1966.
  24. Зинченко В.П., Леонтьев А.Н., Панов Д.Ю. Проблемы инженерной психологии. Сб. "Инженерная психология". Изд-во МГУ, М., 1964.
  25. Зинченко П.И., Невельский П.Б., Рыжикова Н.И., Сологуб В.П. Вопросы психологии памяти и теория информации. Сб. "Инженерная психология", Изд-во МГУ, М., 1964.
  26. Кайдро Х.В. Влияние раздражителей, не имеющих сигнального значения, на время реакции человека. Тезисы симпозиума "Об актуальных проблемах экспериментального исследования скорости реагирования" Тарту, 1967.
  27. Кекчеев Г.Х. Интерорецепция и проприорецепция и их значение для клиники. Медгиз, 1946.
  28. Котик М.А. О влиянии формы представления информации на передаточные свойства летчиков. "Системы автоматического управления и навигации летательных аппаратов", Труды ВВИА им. проф. Жуковского № 1094, 1965.
  29. Котик М.А. О характеристиках значимости информации контрольных приборов и их использования в целях повышения надежности систем "человек-техника". Материалы I Всесоюзного симпозиума по надежности систем "человек-техника" в июне 1967, /в печати/.
  30. Котик М.А. Когда на помощь приходит прибор-дублер. "Авиация и космонавтика", 1968, № 2.
  31. Котик М.А. Сблизились стрелки, а могли бы и ... самолеты. "Авиация и космонавтика", 1968, № 7.
  32. Крылов А.А. Влияние диаметра шкалы на читаемость стрелочных контрольно-измерительных приборов. Доклады АПН РСФСР. 1962, № 1.
  33. Крылов А.А., Пахомов А.Ф. Влияние величины интервала

- времени между световыми сигналами на продолжительность простой сенсомоторной реакции человека. Сб. "Проблемы инженерной психологии", вып. 2. Изд. Общ-ва психологов. Л., 1965.
34. Ломов Б.Ф. Человек и техника. Изд-во "Советское радио", М., 1966.
35. Ломов Б.Ф. Точность работы оператора и характеристика ошибок. Сб. "Инженерная психология", Изд-во МГУ, 1964.
36. Ломов Б.Ф. Инженерная психология в СССР. Сб. "Проблемы инженерной психологии", Изд-во "Наука", М., 1967.
37. Ломов Б.Ф., Николаев В.И., Рубахин В.Ф. Актуальные теоретические проблемы инженерной психологии. Третий всесоюзный съезд об-ва психологов СССР, том 3, изд. Министерства просвещения СССР и АПН СССР, М., 1968.
38. Леонтьев А.Н., Кринчик Е.П. О применении теории информации в конкретно-психологических исследованиях. "Вопросы психологии", 1961, № 5.
39. Леонтьев А.Н., Кринчик Е.П. Преработка информации человеком в ситуации выбора. Сб. "Инженерная психология", Изд-во МГУ, 1964.
40. Ляудис В.Я. О структуре мнемонического действия. Сб. "Проблемы инженерной психологии", вып. 3, Л., 1965.
41. Макаров П.О. К биофизике пространственно-временных соотношений. Сб. "Проблемы восприятия пространства и времени", Изд-во ЛГУ, 1961.
42. Миллер Дж. А. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых проблемах нашей способности перерабатывать информацию. Сб. "Инженерная психология", Изд-во "Прогресс", М., 1964.
43. Митькин А.А. Исследование процесса чтения приборных шкал различной формы в условиях дефицита времени. Тезисы докладов научно-технической конференции.

- Сб. "Инженерная психология в приборостроении".  
Л., 1965.
44. Назаров А.И. Изучение сенсомоторных реакций и двигательных навыков. Сб. "Инженерная психология", Изд-во МГУ, 1964.
45. Небылицын В.Д. Надежность работы оператора в сложной системе управления. Сб. "Инженерная психология". Изд-во МГУ, 1964.
46. Невельский П.Б. Исследование объема кратковременной и долговременной памяти. Сб. "Проблемы инженерной психологии". Изд-во "Наука", М., 1967.
47. Невельский П.Б. Объем памяти и количество информации. Сб. "Проблемы инженерной психологии", вып. 2, Изд-во Общ-ва психологов Л., 1965.
48. Николаев В.И. Контроль работы судовых установок. Изд-во "Судостроение", Л., 1965.
49. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. Изд-во "Энергия", Л., 1968.
50. Новоселов М.М. К вопросу об устойчивости работы оператора в системе управления. Сб. "Инженерная психология", Изд-во МГУ, 1964.
51. Ольшанникова А.Е. Влияние продолжительности работы на зависимость времени реакции от интенсивности зрительных сигналов. "Вопросы психологии", 1953, № 6.
52. Ошанин Д.А., Панов Д.Ю. Человек в автоматических системах управления. Сб. "Кибернетику на службу коммунизму", М., 1961.
53. Ошанин Д.А. Оперативный образ управляемого объекта в системах "человек-автомат". Трубы XVIII конгресса психологов. Симпозиум 27. М., 1963.
54. Ошанин Д.А., Венда В.Ф. О некоторых путях повышения активности операторского труда в системе "человек и автомат". "Вопросы психологии", 1962, № 3.
55. Пахомов А.Ф., Измаильцев А.М. Экспериментальные исследования по рациональному размещению индикацион-

- ных устройств в поле зрения оператора. Сб. "Проблемы общей и индустриальной психологии". Изд-во ЛГУ, 1963.
56. Паужайте С.А. Зависимость точности реакции на движущуюся стрелку от формы шкалы и скорости движения. Сб. "Проблемы инженерной психологии" /Материалы I Ленинградской конференции по инженерной психологии/. Изд. Общ-ва психологов. Л., 1964.
57. Платонов К.К. Психология летного труда. Воениздат. М., 1960.
58. Половко А.М., Губинский А.И. Сравнение характеристик надежности человека и техники. Материалы I Всесоюзного симпозиума по надежности систем "человек-техника" в июне 1967 /в печати/.
59. Пушкин В.Н. Оперативное мышление в больших системах. Изд-во "Энергия", М.-Л., 1965.
60. Репкина Г.В. Об объеме оперативной памяти. "Проблемы инженерной психологии", изд-во "Наука", М., 1967.
61. Рейтман У.Р. Познание и мышление, Изд-во "Мир", М., 1968.
62. Розе Н.А. Экспериментальное исследование микродвижений пальцев руки при манипулировании органами управления. Сб. "Проблемы общей и индустриальной психологии", Изд-во ЛГУ, 1963.
63. Розенберг В.Я., Прохоров А.И. Что такое теория массового обслуживания, Изд-во "Советское радио", М., 1965.
64. Рыжкова Н.И. О некоторых способах кодирования информации. Сб. "Проблемы инженерной психологии", Вып. 3, Л., 1965.
65. Сергеев Г.А., Романенко А.Ф. Статические методы оценки эффективности передаточной функции человека-оператора. "Вопросы психологии", 1965. № 4.

66. Сийман У.М. О комплексном исследовании факторов, влияющих на скорость реагирования. Тезисы симпозиума "Об актуальных проблемах экспериментального исследования скорости реагирования", Тарту, 1967.
67. Степанов А.А. Влияние различных видов контраста на скорость и точность считывания знаков с экрана. Сб. "Проблемы инженерной психологии". вып. Изд. Общ-ва психологов. Л., 1965.
68. Суходольский Г.В. К вопросу о точности регулирования усилий человеком. Сб. "Проблемы общей, социальной и инженерной психологии", Изд-во ЛГУ, 1966.
69. Суходольский Г.В. Время реакции человека при слежении за движущейся целью. Тезисы симпозиума "Об актуальных проблемах экспериментального исследования скорости реагирования", Тарту, 1967.
70. Теплов Б.М. Проблемы индивидуальных различий. Изд-во АПН РСФСР, 1961.
71. Траскунов П.М. Условия работы и пути повышения надежности радиотехнического оборудования летательных аппаратов. Воениздат. М., 1963.
72. Терешкина И.В. О процессе автоматизации двигательных навыков. Материалы совещания по психологии. Изд-во АПН РСФСР, 1957.
73. Филиппов А.В. О психологии ошибок линотиписта и мерах борьбы с ними. Сб. "Проблемы инженерной психологии" /тезисы докладов/. Л., 1963.
74. Фиттс П., Петтерсон Дж. Пропускная способность дискретных двигательных реакций. Сб. "Инженерная психология за рубежом". Изд-во "Прогресс", М., 1967.
75. Харкевич А.А. О ценности информации. "Проблемы кибернетики", 1960, № 4.

76. Чапанис А. Инженерная психология. Сб. "Инженерная психология". Изд-во, "Прогресс", М., 1964.
77. Чапанис А. О некоторых отношениях между инженерной психологией, исследованием операций, системной техникой. Сб. "Инженерная психология", Изд-во, "Прогресс", М., 1964.
78. Цибулевский И.Е. Запозывание оператора при обработке зрительных сигналов. "Автоматика и телемеханика", 1962, № II.
79. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. Физматгиз, М., 1960.
80. Якубайтис Э.А. Асинхронные логические автоматы. Изд-во "Знание", Рига, 1966.
81. Three dimensional pilot display well be flight-tested  
RGP-SF. "Aviation week" 1959, vol 70, N 18,  
pp 141, 143, 147.
82. All-weather landing "Aircraft Engineering", 1962,  
N 406, pp 380-383.
83. Fearnside Flight control sistem. "Aircraft Engineering"  
1962 N 395, p. 218.
84. Essentives standartisation. "Aeroplane" 1957. N 2370  
p. 261.
85. Civil rating for Belfast "Head-up" display. "Aeroplane"  
1962, vol. 104, N 2661, p. 25.

Именной указатель X/

	Стр.		Стр.
Аннет	84, 212	Кайдро Х.В.	53
Бардин К.В.	126	Калбарсон	94
Берг А.И.	127, 136	Кекчеев Г.Х.	202
Бергер	179, 180	Кидд	151
Бердик	61	Кинкейд	151
Бернс	61	Клеммер	79, 83
Беренштейн Н.А.	40, 42	Коннор	216
Бейтс	203	Котик М.А.	28, 34, 35, 71, 97, 119, 120, 153
Бил	215		
Бобнева М.И.	149	Крживоголовый	178
Бойко Е.И.	37, 40, 42, 43, 48, 50, 60, 77, 83, 85	Кринчик Е.П.	82, 83, 84, 85, 86, 96
Браун	88	Крылов А.А.	176, 215
Бриллен	67, 96	Купфмиллер	66
Бушурова В.Е.	208	Ладсел	179, 180
Вальтер	45	Лаплас	64
Веккер Л.М.	220	Ле Ни	51
Венда З.Ф.	97	Леонард	866, 87
Великанов Д.П.	60	Леонтьев А.Н.	17, 20, 82, 83, 84, 85, 86, 96
Вентцель Е.С.	99	ли	157
Викентьева А.И.	177	Линкольн	142
Винер	18	Ломов Б.Ф.	8, 44, 45, 46, 48, 49, 54, 56, 66, 74, 79, 106, 116, 117, 128, 142, 149, 151, 170, 172, 175, 177, 179, 181, 190, 192, 196, 197, 200, 202, 203, 207, 213, 214, 216, 219, 221.
Виноградов М.И.	150		
Водозеров В.М.	182, 217	Лоукс	178
Вудвортс	89	Ляудис В.Я.	89
Гарвей	221	Макаров П.О.	48
Гарриман	181	Макворт	179, 180
Геллерштейн С.1.	55	Мак Ферланд	202
Гнеденко Б.В.	62, 128	Мансуров Р.М.	142, 178
Глезер В.Д.	74	Матосуек	194
Горбов Ф.Д.	157	Маубрей	86
Грэхэм	172		
Дженкинс	216		
Джилберт	219		
Дмитриева М.А.	46, 47		
Дондерс	39		
Деревянко Е.А.	151		
Жукова Т.И.	177		
Завалишина Д.Н.	24		
Земан	66, 67		
Зимкин Н.В.	54, 178		
Зинченко В.П.	17, 20, 23		
Зинченко П.И.	88, 89, 94		
Измаильцев А.М.	190, 191		

X/ В указателе даются ссылки на авторов и в том случае, когда в тексте упоминаются их работы.

	Стр.
Меркель	81,82
Миллер Д.А.	79,89,90,91
Миллер Д.С.	74,154
Митькин А.А.	174
Мытник	221
Назаров А.И.	204,205
Наринская А.	190
Небылицин В.Д.	149,154,156
Невельский П.Б.	88,89,90,91,92, 94
Николаев В.И.	8,83,84,98,102, 139,141
Новицкий П.В.	107
Новодворский Е.П.	177
Оллуизи	87
Ольшанникова А.Е.	51,95
Ошанин Д.А.	13,51,97
Павлов И.П.	39,50
Панов Д.Ю.	17,20,23
Паужайте С.А.	219
Пахомов А.Ф.	190,191,215
Петров Ю.А.	177
Петтерсон	209,210,211, 212
Платонов К.К.	177
Поллак	79
Половко А.М.	139,141
Пушкин В.Н.	23,24
Рашевский	94
Рейн-Скотт	181
Репкина Г.В.	93
Родз	72
Розе Н.А.	208,213
Розенберг С.М.	176
Розенблатт	94
Романенко А.Ф.	116
Рубахин В.Ф.	8
Рыжкова Н.И.	88,89,94
Сергеев Г.А.	116
Сейман У.М.	53
Слейт	172,173,174, 179,180
Сологуб В.П.	88,89,94
Спирина А.	190
Степанов А.А.	180
Стивенс Д.	44
Стивенс С.	44
Сурков Е.Н.	220
Суходольский Г.В.	54,55,203, 217.

	Стр.
Теплов Б.М.	23,181
Терешкина И.В.	54
Траскунов П.М.	62,128, 135
Тэйлор	219
Тэлфорд	214
Уайт	176,177
Усачев В.В.	61
Уэд	61
Фехнер	44
Филиппов А.В.	198
Фиттс	202,209, 210,211, 212
Хаймен	82,83, 84
Харкевич А.А.	96,98, 164
Хартли	67
Хебб	94
Хейез	89,91, 92
Хик	74,80, 81,82, 83,84
Цибулевский И.Е.	51,52
Цуккерман И.И.	74
Чапанис	117,175, 177,216
Чудаков Е.А.	61
Шеннон	67,69, 75,81, 209
Шошель	50
Яглом А.М.	68
Яглом И.И.	68
Якубайтис Э.А.	161

Предметный указатель

Стр.

Адаптация	47, 48, 49, 52
Активный отдых	150
Алгоритм решения	25
Анализаторы	43, 48, 49
-- болевой	49
-- вестибулярный аппарат	49
-- зрительный	49, 51, 78
-- кинестетический	11, 197, 207, 208
-- обонятельный	49
-- слуховой	49, 196
-- тактильный	49, 196, 197, 198
-- температурный	49
Аналог визуального полета	184, 185
Антропометрические характеристики	200, 201, 202
Афферентные	40, 41, 43, 206
Бит	70, 71
Вариация	145
Вероятность отказа	129, 130, 131, 132, 133
Вероятность безотказной работы	129, 130, 131, 132, 133, 134, 165, 167
Время двигательного акта	204
-- реакции	37, 38, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 60, 61, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 96, 125, 126.
-- реакции на движущийся объект	39, 54
-- реакции на непредвиденный раздражитель	155
-- реакции на второй сигнал	52, 214
-- цикла регулирования	56, 57
Вторая сигнальная система	41.
Выносливость долговременная	153
-- к перенапряжению	154
Движения рабочие	200, 207
-- гностические	207, 208, 209
-- приспособительные	207, 208, 209
Детерминированные системы	24
Дизъюнктивная реакция	39
Динамическое узнавание	24
Директорные приборы	187, 188
Дифференцируемые раздражители	82
Дозирование движений	216
Долговременная выносливость	153
"Дорога в небо"	185
Дублирование операторов	117, 118

Закон надежности	133
-"- -"- дифференциальный	130
-"- -"- интегральный	130
-"- -"- общий	133
-"- -"- экспоненциальный	133, 134, 135, 139
-"- силы	51
Значимость информации	51, 95, 96, 97, 98, 99,
-"- прибора	100, 101, 102, 103
	163, 164, 165, 166,
	192.
Зона фoveального зрения	190
-"- периферического зрения	190, 192
Идентификация	78, 79, 84, 89, 74
Избыточность кода	76
Измерение	107
Индикаторы картинные	183, 184, 185
" -"- командные	186
-"- ситуационные	170
Инженерная психология	
-"- история	7
-"- назначение	7, 8
-"- направления развития	8, 9
Интегральные приборные доски	194, 195
Интегрирующие функции человека	15
Интенсивность отказов	131, 132, 133, 134
-"- раздражителя	44, 45, 53, 196, 197
Интерорецепторы	40
Информационная модель	18, 19, 20, 25
Информация	
-"- количественные характеристики	66, 67, 68, 69, 70, 71,
	72, 77, 78, 79, 80, 81,
	82, 83, 85, 89, 102
-"- индивидуальная	85, 86
-"- определения	67, 68, 69
-"- рассогласования	34, 35, 36
-"- семантическая	97
-"- средняя	73, 85, 86
-"- прагматическая	97
-"- теория	66, 68, 78
Клас точности приборов	110
Классификация индикаторов	170
Концептуальная модель	22, 26
Коэффициент готовности	135, 141
-"- учета условий эксплуатации	135, 141
-"- "удельного веса" оператора	
в обеспечении общей на-	
дежности	144, 145, 147, 148
-"- эффективности использования	136, 141

Латентный период	38,48,50,54,81,82
Маршрут обзора приборов	35
Механизм памяти	90,91
Модальность ощущения	48,49,50
Модели памяти	94,95
Моделирование	8,93
Моторный период	38,50
Надежность	127,128
"- технически звеньев	128
"- в экстремальных условиях	156
"- системы "человек-машина"	142,143,144,145,146
"- человека	127,128,142,148, 149
Начертание цифр на шкале	179,180
Недетерминированные системы	24
Неопределенность кодирования	87
"- стимулов	87
Общий закон надежности	133
Оперативное мышление	22,23,25,125
Оперативность	19
Оперативный образ	19,32,125
Оптимальное кодирование	26
Основной психофизический закон	44
Отбор профессиональный	9,16,149,156
Отказы	129,130,131,132, 139,142
"- внезапные	134
"- постепенные	135
Отстройка	158
Оцифровка шкал	178,179,180
Ошибки оператора	107,108,115,117
"- систематические	108,111,113,114,122
"- абсолютные	109
"- общие	113,114,115
"- относительные	109
"- переключения	154
"- приведенные	110
"- случайные	108,111,112,113,114
Память долговременная	88,90,91,92,93
"- кодовая	94
"- кратковременная	89,91,92,93
"- машин	94,95
"- непосредственная	88
"- оперативная	88,89,90,93
"- оперативная единица	93
Паравизуальные приборы	188,189
Параметры речевых сигналов	196,197

Перегрузки оператора	153, 154, 197
Переключаемость	153
"Персептрон"	94
Перцептивно-моторные задачи	216
План операций	23
Поле зрения оператора	190, 191, 192
Помехоустойчивость	156, 157, 158, 197
Порог абсолютный	43
-"- восприятия скорости движения	182
-"- временной	46
-"- динамический	45
-"- дифференциальный	44
-"- оперативный	46
-"- оптимального различения	46
-"- пространственный	46
-"- статический	45
Последствия отказов	159, 160, 161, 162, 163
Правило "реализма"	220
Приборные панели	190
Принцип экономии рабочих движений	219
Приспособительные возможности человека	17
Пропускная способность информации	28, 31, 33, 34, 36, 74, 75, 154
Постепенный износ	130, 135
Промахи	109
Психологическая рефракторная фаза	214
Работоспособность	150, 151
-"- периоды изменения	151, 152
-"- фазы	150
Размеры шкалы	176, 177
Размещение приборов	192, 193, 194
Разрешающая способность	171
Реакция на движущийся объект	39
-"- на непредвиденные раздражители	155
Реверберация звука	197
Резервирование	136, 163
-"- горячее	138
-"- ручное	137
-"- холодное /автоматическое/	137
Резервное время	56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 98, 99, 100, 101, 102, 103
Реконструирование информации	19
Рецепторы	40, 43, 45, 49
Речевые сигналы	196, 197
Сенсомоторная реакция	38, 39, 48, 50, 53, 215
Сенсорная изоляция	154
Сигнализация об отказе	147, 148
Сигналы в виде изображений	180

Сигналы на электронно-лучевых трубках	181,182,185,194
Сила рук	202
Система индикации "смотри вперед"	195
-"- "человек-автомат"	13
-"- "человек-машина"	13
Согласование сенсорных и моторных полей	220
-"- функций человека и машины	16,17
Способы повышения надежности	137,138,146,147
Среднее время безотказной работы	142
Стрессовые ситуации	156
Структурирование	24
Счетчики	173,175
Тахистоскоп	37
Темп движений	213,214
Точность	104,105,106,118,119
-"- отсчетов	122,123,174,175,176, 179
-"- различения параметров	203
-"- движения	216
-"- слежения	217
Управление с помощью речевых сигналов	199
Устойчивость к действию внешних факторов	155
Утомление	150,152
Формирование алгоритма решения	25
Функции памяти человека и машины	95
Функция значимости информации	99,100,101,102,103
Характеристики рабочих движений оператора	200,201,202,218
Читаемость индикаторов	172,178
Чувствительность	43
-"- абсолютная-	46
-"- дифференциальная	46
Шкалы вертикальные	173,174
-"- горизонтальные	173,174
-"- круговые	173,174,175
-"- подвижные и неподвижные	174,175
-"- полукруговые	173
-"- "слепые"	174
-"- функциональные	107
Экстрорецепторы	40
Элементы стрелочных приборов	177
Эмоционально-волевой фактор	155
Энтропия	69,70,71,72,73,74, 75,76

Эргономика

Эффект Ли

Эффективность кодирования

-"-

оператора

-"-

системы "человек-машина"

Эффекторы

8

157

26, 28, 30, 33, 35, 36,

76

167, 169

166, 167, 168

39, 43, 206

М.А. КОТИК

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

На русском языке

Тартуский государственный университет  
ЭССР, г.Тарту, ул. Пилкооли, 18

Ответственный редактор Х. Кайдро

Корректор Л. Аболдуева

=====  
Ротапринт ТГУ 1968. Сдано в печать 9/ХП 1968 г.  
Печ. листов 15 (условных 13,95). Учетн.издат.  
листов 12,8. Тираж 600 экз. Бумага 30x42. 1/4.  
МВ 09287. Заказ № 754.

Цена 45 коп.