

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

А. В. ЗЕЛЕНСКИЙ

УЧЕТ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТОРА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ РЭС

Учебное пособие

Учет психофизиологических характеристик оператора при конструировании РЭС: Учеб. пособие /А. В. Зелёнский, Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. 54 с.

Рассматриваются вопросы учета психофизиологических характеристик оператора при разработке радиотехнических устройств и систем. Даются рекомендации по выбору типа устройств отображения информации в РЭС и обоснованию их использования.

Предназначено для студентов спец. 23.03, выполняющих курсовые и дипломные проекты.

Табл. 9. Ил. 21. Библиогр.: 11 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института им. академика С. П. Королёва

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Е. М. Карпов,
канд. техн. наук, доц. В. И. Трубицын

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие радиоэлектроники характеризуется усложнением аппаратуры не только за счет улучшения показателей качества, но и за счет создания встроенных сервисных и контролирующих систем. Наряду с этим существенно изменяются условия и содержание деятельности человека-оператора, связанные с увеличением количества одновременно контролируемых параметров. Достаточно сказать, что за последние 30 лет число приборов на современном самолете увеличилось более чем в 30 раз, а время, отводимое на выполнение отдельных операций, уменьшилось в 5...7 раз. Поэтому задача повышения эксплуатационных характеристик радиоэлектронных средств (РЭС) является актуальной.

Резервы повышения эксплуатационных характеристик РЭС за счет совершенствования техники практически исчерпаны. Сегодня основным направлением повышения эффективности, особенно сложных РЭС, является учет особенностей психофизиологических свойств человека-оператора. Учетом характеристик оператора, их согласованием с параметрами технических систем занимается новая наука — *инженерная психология*. Одним из направлений этой науки является *эргономика*, усилия специалистов здесь направлены прежде всего на модернизацию существующей техники, улучшение труда с целью ослабления действия отрицательных явлений, обусловленных монотонностью работы, несовершенством органов управления и других факторов. Инженер-разработчик сложной РЭС должен уделять надлежащее внимание всем сторонам проблемы и выполнять следующие основы требова-

ния: произвести выбор принципиальной схемы устройства; выбрать и разместить элементы схемы; предусмотреть защиту элементов и узлов РЭС; предусмотреть соединение и взаимную связь узлов; учесть психофизиологические факторы.

В настоящее время отсутствуют учебники, где рассматривалась бы проблема учета психофизиологических характеристик оператора при конструировании РЭС — это существенно усложняет процесс проектирования студентами изделий радиоэлектронной аппаратуры. В предлагаемом учебном пособии рассматриваются вопросы взаимосвязи между характеристиками РЭС и оператора, характеристики зрения и устройств отображения информации, даются практические рекомендации по проектированию органов управления РЭС. Знание материала пособия позволит более грамотно подойти к вопросам конструирования РЭС с учетом характеристик оператора.

1. УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТОРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ РЭС

Сложные РЭС представляют собой системы с большим количеством прямых и обратных связей между блоками и устройствами. Примерами сложной РЭС являются радиолокационные станции, система контроля и управления состоянием объекта, система передачи и приема информации.

Основные признаки сложной системы следующие:

1. Обладание определенным единством цели и способностью выработки оптимальных решений по заранее выработанному критерию эффективности.
2. Выполнение большого количества различных функций, которые осуществляются множеством входящих в систему частей или элементов.
3. Сложность функционирования (изменение одной переменной влечет за собой изменение многих переменных и, как правило, нелинейным образом).
4. Высокая степень автоматизации.
5. Возможность статистического описания поступающих в систему возмущений.

В сложных РЭС функционируют различные по природе, но тесно связанные между собой едиными целями человек-оператор (или группа операторов) и техническая часть системы. Функционирование технических систем и деятельность человека, который использует их в процессе труда, рассматриваются во взаимосвязи, что и привело к формированию понятия *системы человек-машина* (СЧМ). Согласно ГОСТ 26387-84 под системой человек-машина понимается «система, включающая человека-оператора, машину, посредством которой он осуществляет трудовую деятельность, и среду на рабочем месте».

Вопросам организации деятельности человека-оператора и работы технических средств с каждым годом уделяется все большее внимание, т. к. большинство аварий, катастроф, простоев оборудования, задержек в подготовке техники происходит имен-

но по вине оператора, а точнее, из-за несогласованности характеристик техники и человека. Часто системы контроля и подготовки техники работают в режимах, далеких от оптимальных.

Следует обратить внимание также на то, что резервы той составляющей общей эффективности, которая связана с совершенствованием техники, в настоящее время значительно исчерпаны. Это говорит о том, что не следует ожидать резкого повышения общей эффективности СЧМ за счет совершенствования технических средств системы контроля. Резервы же повышения эффективности СЧМ, которые могут быть получены за счет организации правильного взаимодействия РЭС с оператором, являются существенными. Даже сравнительно небольшие рациональные решения в этом вопросе могут оказаться значительно эффективнее, чем крупные технические решения.

При организации взаимосвязи человека и машины в СЧМ основная роль принадлежит уже не столько аналитическим и физиологическим, сколько психологическим свойствам человека: восприятие, память, мышление, внимание и т. п. От психологических свойств человека во многом зависит его информационное взаимодействие с машиной [1].

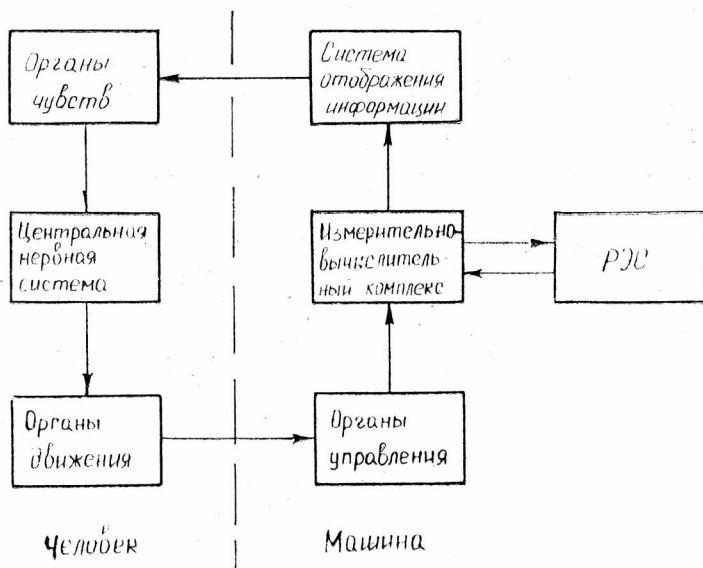


Рис. 1

Структурная схема СЧМ приведена на рис. 1. Из нее видно, какие сложные связи существуют между органами человека и радиоэлектронной системой, которой он управляет. Для удобст-

ва управления при конструировании сложной РЭС стараются, чтобы все сведения, необходимые для контроля и управления, отражались в показаниях приборов различного типа. Однако процесс восприятия показаний оператором не всегда учитывается. Да этого и нельзя сделать, не зная закономерностей восприятия, внимания, памяти, мышления, динамики технических состояний человека. Т. е. можно сказать, что уже на ранней стадии проектирования системы закладывается возможность ошибок персонала (или экипажа).

Пренебрежения вопросам учета взаимодействия техники с обслуживающим персоналом (операторами) приводило к значительным потерям и катастрофическим последствиям: авария на Чернобыльской АЭС, гибель корабля «Адмирал Нахимов». Или еще пример. Несколько лет назад число аварий в авиации, связанных с ошибками летчика и отказами техники, составляло 60 и 40% соответственно. В настоящее время более 90% аварий происходит по вине летчиков. Проведенный анализ распределения ошибок летчиков показал, что наибольшее их число связано с обнаружением и опознанием сигналов, т. е. с приемом и переработкой информации. Причиной ошибок является то, что совершенствование решений идет быстрее, чем решение вопросов по учету человеческого фактора. Это, с одной стороны, повышает надежность технических средств, а с другой — увеличивает объем контролируемых параметров, что усложняет работу человека-оператора.

Очевидно, человеческий фактор необходимо учитывать с самого начала проектирования СЧМ. На первых порах создания сложных систем господствовал машиноцентрический подход (от машины — к человеку), при котором упрощение труда человека рассматривалось как основной путь согласования техники с человеком. Такой подход в своей методологической основе напоминал систему Тейлора, на которую в начале века ориентировалось конвейерное производство. Человек рассматривался как простое звено. Основной задачей было «вписать» человека в контур технической системы управления. Исходя из этого, передаточные характеристики такого звена описывались без учета конкретных условий деятельности оператора.

При дальнейшем развитии инженерно-психологических исследований стала обнаруживаться ограниченность машиноцентрического подхода, не учитывающего характер мотивации, эмоциональное состояние, уровень работоспособности, опыт и т. д., поэтому по мере усложнения систем результаты эксперимента находили все меньшее подтверждение на практике. Стал формироваться антропоцентрический подход к анализу СЧМ (от человека — к машине). С позиций такого подхода главное в

описании СЧМ — деятельность человека, рассматриваемая как основная составляющая процесса управления, структуре и целям которой подчинены все прочие элементы системы. Человек по-прежнему остается звеном системы, но звеном особого рода, которое организует всю систему, направляет ее на достижение определенной им же самим заданной цели. Именно человек определяет цели и частные задачи, выполняет управляющие действия и оценивает полученные результаты.

В процессе управления сложной системой оператор воспринимает не непосредственное состояние объекта, а некоторый имитирующий его образ (отображение), называемый *информационной моделью*. Под такой моделью понимают организованное в соответствии с определенной системой правил отображение управляющего объекта, его системы управления, внешней среды и способов воздействия на них. Материальной реализацией информационной модели являются приборные панели, индикаторные устройства. Они образуют *«оперативное поле»*, на базе которого возникают и протекают основные технические процессы, из которых складывается управляющая деятельность оператора [10].

Однако при создании сложных РЭС основываться только на информационной модели нельзя. В таком случае оператор только фиксирует сообщение, в то время как процесс восприятия текущей информации имеет, как минимум, две ступени: первая — *восприятие физических явлений*; вторая — декодирование воспринятых сигналов и формирование на их основе мысленной картины управляемых процессов, т. е. создание так называемой *концептуальной или технической модели*.

В процессе своей деятельности по управлению процессом оператор все время проводит сравнение психической модели с эталоном, соответствующим требуемому состоянию объекта. Эталон хранится в памяти человека или представляется на передней панели в виде графиков, символов или картинок.

Принимаемые решения оператор реализует с помощью органов движения или речи. Воздействуя на средства ввода информации, он осуществляет целенаправленную деятельность в соответствии с задачами, выполняемыми всей системой.

Физиологической основой формирования психической модели является работа анализаторов — нервных органов, с помощью которых человек производит анализ ощущений. Основными в деятельности оператора являются зрительные, слуховые и тактильные (осязательные) анализаторы.

На этапе проектирования сложных РЭС для анализа возможных критических ситуаций производится математическое моделирование СЧМ. Моделирование должно обеспечить учет

психофизиологических характеристик оператора, т. е. возможностей и ограничений, присущих человеку. Разрабатываются модели человека-оператора [6], которые учитывают не только функциональную адекватность и конструктивность в широком диапазоне условий работы оператора, но и высокую способность человека к адаптации, зависимость его характеристик от уровня тренированности, загрузки дополнительной работой и т. д.

Наиболее широко распространено представление модели работы оператора в виде передаточной функции с постоянными коэффициентами.

Так, например, при построении модели работы оператора в режиме слежения реализуется принцип регулирования по отклонению, т. е. когда управляющее воздействие зависит от ошибки слежения и его производной. Модель должна отражать присущие человеку факторы: временную задержку реакции — период невосприимчивости ($\tau_{\text{л}} = 0,1 \dots 0,25$ с), динамическое нервно-мышечное запаздывание $(\tau_{\text{м}} s + 1)^{-1}$, постоянная времени которого $\tau_{\text{м}} = 0,1 \dots 0,2$ с.

Эта задача переросла в крупную народнохозяйственную проблему, актуальность которой все более возрастает и вызывает значительный интерес разработчиков РЭС, специалистов по средствам отображения информации. Эта проблема комплексная и требует привлечения новейших достижений как технических наук, так и наук о человеке. Решение ее в значительной степени зависит и от успехов инженерной психологии — науки, которая изучает объективные закономерности процессов информационного взаимодействия человека и техники для использования их в практике проектирования, создания и эксплуатации СЧМ. Важнейшей задачей инженерной психологии является изучение влияния психологических факторов на эффективность СЧМ, оптимизация информационного взаимодействия человека с техническими устройствами и разработка теорий инженерно-психологического проектирования с целью последующего ее использования при разработке СЧМ [11].

2. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ РЭС И ОПЕРАТОРОМ

Человек занимает основное место в управлении техникой, созданной им. Разные приспособления и технические средства помогают человеку усилить его возможности с точки зрения физической силы, скорости действия и др. Чтобы максимально облегчить роль человека в управлении техническими средствами, необходимо создать для человека-оператора соответствующую

щие условия работы, которые складываются из многих факторов. К ним можно отнести рабочее место с его организацией, условия работы и др. Рабочее место включает различные средства управления, такие как пульты, рычаги управления, приспособления, которые должны быть разработаны с использованием достижений антропологических наук (к таковым относятся все те науки, предметом изучения которых является человек).

Управление техническими средствами и выполняемыми ими операциями является проблемой любой новой разработки. Не располагая достаточно полными сведениями о свойствах и возможностях человека-оператора как неотъемлемого звена системы управления, проектировщик не может обеспечить необходимую надежность и эффективность работы изделия.

Функции человека в СЧМ могут быть различными. Он может выступать в роли приемника информации, поступающей в той или иной форме от управляемого объекта, выполняя при этом функции наблюдения и контроля. Более сложным является управление посредством приема информации, ее анализа и принятия управляющих решений. Управляющие решения обычно появляются как команды, которые оператор передает системе в определенном порядке и в необходимое время. От своевременности выработки и передачи команд часто зависит качество работы изделия, поэтому на проектировщика ложится ответственность за разработку удобной системы управления изделием и создание для оператора оптимальных условий работы.

Чтобы обеспечить рациональное взаимодействие человека с техникой, разработчик должен создать удобно управляемую техническую систему. Наиболее типичны разомкнутые и замкнутые системы контроля и управления объектом, в которых человек, связанный прямыми и обратными связями с управляемым объектом, выступает в роли важнейшего и наиболее ответственного звена системы.

На рис. 2 представлена элементарная структурная одноконтурная схема замкнутой СЧМ. В этой схеме состояние любого звена влияет на все остальные и зависит от них.

На рис. 3 представлена более сложная структурная схема СЧМ, в которую включается система автоматического управле-

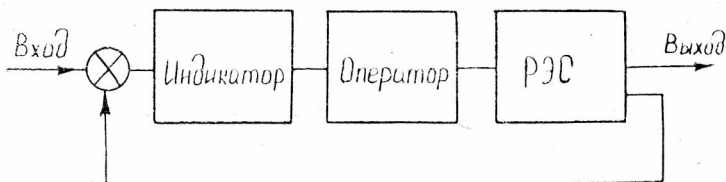


Рис. 2

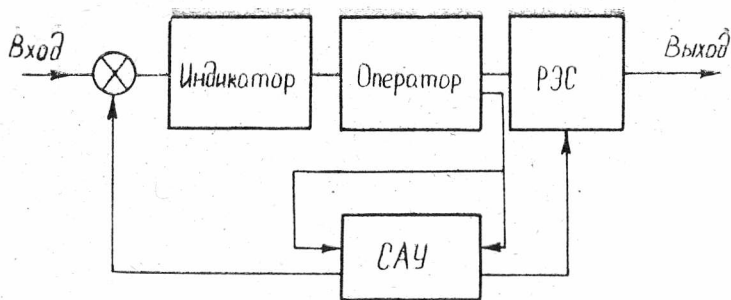


Рис. 3

ния (САУ), а человек-оператор наблюдает за индикатором и в случае, когда САУ по каким-либо причинам не справляется с задачей, активно вмешивается в процесс управления.

На рис. 4 представлена структурная схема с управляющей вычислительной машиной (УВМ), которая осуществляет автоматический пуск управляемых объектов по оптимальной про-

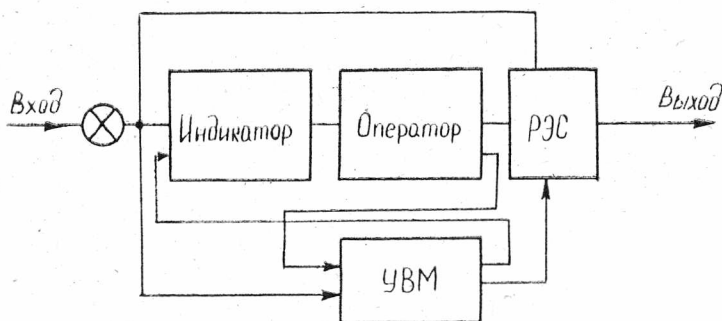


Рис. 4

грамме с учетом их состояний, поддерживает заданный режим работы, исходя из максимальной экономичности, предупреждает аварии, сигнализирует о нарушениях процесса с указанием места их возникновения и т. д., освобождая тем самым человека-оператора от многих функций. При нормальной работе человек наблюдает за работой РЭС, при отказе УВМ берет функции контроля и управления на себя.

Из рассмотренных структурных схем очевидным является тот факт, что при переходе от одного этапа развития к другому человек освобождается от ряда функций, которые берет на себя

РЭС, возлагая при этом более ответственные задачи по интегральному контролю и управлению процессом. Человек в СЧМ может выполнять различные функции:

- выступать в роли приемника осведомительной информации, поступающей в той или иной форме от РЭС, ее ретранслятора, передающего информацию от одного звена системы к другому;
- осуществлять анализ информации и принимать решения, т. е. вырабатывать управляющую или командную информацию;
- осуществлять программирование работы всей системы или ее частей;

- вести наблюдение и контроль за работой системы;

- выступать в роли исполнителя команды.

Принем и переработка человеком информации, циркулирующей в системах контроля и управления, выступают как частный случай процессов познания и деятельности, протекающих с определенными характеристиками, к которым относятся время задержки, точность, надежность.

Присущие человеку качества мышления, внимания и восприятия, и возможности реализации многообразных управляющих воздействий делают его универсальным звеном контура управления. Человек может очень быстро перестраивать свои характеристики управления в зависимости от изменения свойств системы управления и вида заданий, переходить от одного способа управления к другому при тех или иных нарушениях в системе. В качестве ограничений и недостатков человека-оператора следует отметить малую скорость переработки информации, ограниченное время непрерывной работы, зависимость характеристик от состояния человека и внешних условий. Поскольку человеком принимаются окончательные и принципиальные решения, это заставляет внимательно подходить к вопросам работы человека-оператора с РЭС. Для оптимизации связи в СЧМ необходимо выполнять РЭС с учетом способностей и возможностей человека-оператора, поскольку ускорения познавательных процессов (ощущения, восприятия, представления и мышление) весьма незначительны. С другой стороны, перегрузка человека-оператора нарушает нормальную работу сложных и ответственных комплексов.

Основные стадии процесса работы СЧМ следующие:

- восприятие показаний индикаторов;

- сравнение этих показаний с программой работы РЭС;

- принятие решения об изменениях в работе РЭС;

- воздействие на органы управления;

- реакция РЭС на сигналы управления;

- работа по новой программе;

- отображение этого режима на индикаторах и т. д.

Определяющими параметрами этого процесса являются: скорость обращения сигнала по контуру, погрешность и надежность работы звеньев системы и скорость обработки информации.

Скорость обращения сигналов по контуру зависит от длительности латентного периода соответствующего анализатора $t_{\text{лп}}$, количества приборов, знаков на индикаторных устройствах и их сложности, количества регуляторов и их сложности, длительности самопроизвольного отвлечения оператора от процесса управления РЭС. Длительность одного сигнала у основных сигнализаторов составляет $t_{\text{лп}} = 0,09 \dots 0,22$ с. Для управления сложной РЭС даже самым квалифицированным оператором требуются десятки и сотни секунд. Для повышения скорости обращения сигналов по контуру необходима тренировка оператора, создание для него комфортных условий, сокращение числа регуляторов и индикаторов до обоснованного минимума.

Для уменьшения утомляемости оператора и повышения надежности оптимизируют темп приема и выработки сигналов (0,5...5 бит/с), разрабатывают целесообразную форму сигналов, создают оптимальное соотношение между степенью полноты изображения и его знаковойостью.

В процессе длительной работы РЭС оператор подвергается усталости, а в некоторых случаях и профессиональному заболеванию (болезнь глаз, расстройство некоторых функций организма в связи с длительным пребыванием в различных средах). Анализ информации о состоянии оператора, выполняющего особо важные задания (полеты в космосе, длительные походы под водой и т. д.) должен, по общепризнанному мнению, стать достоянием не только медиков, но и инженеров, и математиков, поскольку анализируется «надежность» оператора в звене «человек—машина». Необходимость этого анализа особо актуальна для успеха работы человеко-машинных систем, в которых оператор подвергается продолжительным и неравномерным нагрузкам. Под «надежностью» оператора будем понимать его способность выполнять поставленные перед ним задачи в определенных условиях эксплуатации на заданном уровне при заданном (допустимом) уровне ошибок, не влияющих на безопасность выполнения заданных функций. В процессе выполнения задач оператору важно определить момент возрастания числа своих ошибок, с тем чтобы или подать команду на отдых, или отключить систему, предотвратив возможные тяжелые последствия, связанные с поведением техники или состоянием здоровья.

Восстановление работоспособности оператора условно можно считать полным, если отсутствует нарушение основных функций организма (нормальный режим труда и отдыха, устойчивый, необходимый по продолжительности сон, и т. д.), либо неполным

(при нарушении установленного режима труда и отдыха вследствие функциональных нарушений в организме оператора).

Рассмотрим построение математической модели наблюдения за физиологическим состоянием оператора при контроле качества выполняемой им работы. Будем считать, что в течение рабочей смены оператор не должен ошибаться более L раз (идеальный случай $L = 0$). Понятно, что режим отдыха оператора имеет принципиальное значение при оценке его «надежности». Ясно, что частый отдых оператора нерационален, так же как и отдых через большой интервал работы. Оператор используется неэффективно в первом случае вследствие большого суммарного времени отдыха, а во втором — вследствие устранения неполадок, возникающих в связи с утомляемостью оператора.

Пусть процесс восстановления работоспособности оператора описывается функцией распределения $F(z) = P(x_k < z)$, $k = 1, 2, \dots$, где x_k — число ошибок, допущенных оператором от $(k-1)$ -го до k -го момента [9].

Сумма фиксированного числа случайных слагаемых в некотором коридоре $(0, L)$ в дискретные равноотстоящие друг от друга моменты времени $1, 2, \dots, k, \dots q$ составляет

$$s_k = \sum_{i=1}^k x_i < L, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Допускается замена работающего оператора ($s_q = 0$).

Если $s_q < L$, то для осуществления этой замены в момент q необходимы затраты C . Если $s_q \geq L$, то затраты увеличиваются до $C + A$, где A представляется как штраф за то, что значение суммы s_q в момент времени y выйдет за допустимый уровень L . Введем удельные затраты C_q :

$$C_q = \begin{cases} \frac{C}{q} & , \text{ если } q < y, \\ \frac{C + A}{[Y] + 1} & , \text{ если } q \geq y, \end{cases}$$

где $[Y]$ — наибольшее q , меньшее y .

Задача состоит в выборе такого правила N^* осуществления сноса суммы s_q , при котором

$$M Y_{N^*} = \min_{N \in G} M Y_N,$$

где G — класс физически реализуемых правил N осуществления сноса в нуль суммы s_q ($q = 1, 2, \dots$). Нам необходимо определить оптимальные моменты выдачи команды на отдых оператора. Тогда решение задачи сводится к следующему:

$$N^* = \min (k^* - 1, [Y] + 1),$$

где k^* — наименьшее k , при котором выполняется неравенство

$$1 - P\{x_k < L - s_{k-1}\} \geq \frac{C}{A(k-1)}.$$

Предполагается, что распределение числа ошибок оператора пуассоновское с параметром λ . Тогда последнее выражение примет вид

$$1 - \sum_{k=0}^{L-s_{q-1}} (\lambda t)^k / k! e^{-\lambda t} \geq \frac{C}{A(q-1)},$$

где s_{q-1} — накопленное количество ошибок к моменту контроля $q-1$.

Вопросы разработки моделей управления «надежностью» оператора рассматриваются в работе [5].

Для определения задержки сигнала рассмотрим простейший случай одноконтурной системы, когда время цикла контроля и управления РЭС представляет собой сумму времени задержки сигнала во всех звеньях

$$T = \sum_{i=1}^n t_i,$$

где t_i — время задержки сигнала в i -м звене; n — количество звеньев в системе контроля и управления.

Наименьшим быстродействием в системах управления обладает человек: время его реакции исчисляется десятными долями секунды. Поэтому время реакции человека в основном определяет время контроля и управления. Самой элементарной разновидностью реакции является так называемая простая сенсомоторная реакция (нажатие кнопки, перемещение рычага и т. п.) в ответ на заранее известный, но внезапно появляющийся с возможной для него максимальной скоростью сигнал. Время задержки в этом случае складывается из латентного периода реакции, определяемого временем с момента появления сигнала до начала движения, и моторного компонента, определяющего длительность ответного движения.

Латентный период простой сенсомоторной реакции зависит прежде всего от того, на какой анализатор воздействует сигнал-раздражитель. В табл. 1 приводятся сводные данные о латентном периоде. Латентный период сильно зависит от интенсивности сигнала: чем сильнее сигнал, тем короче латентный период. На рис. 5 приведены данные измерения длительности латентного периода реакции от интенсивности звукового раздражителя, близкой к порогу чувствительности слухового анализатора до 100 дБ и выше.

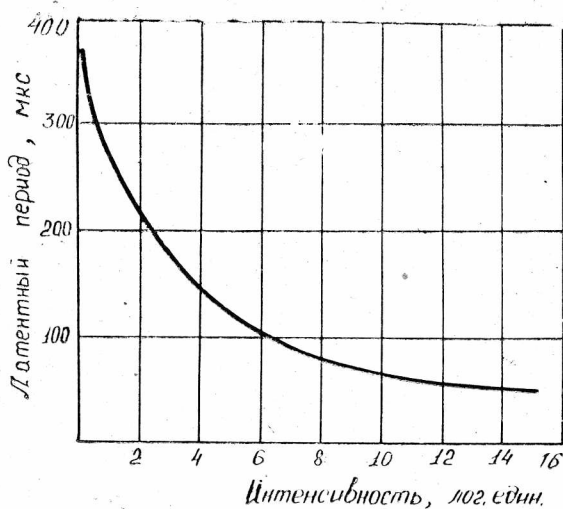


Рис. 5

Таблица 1

Анализатор (качество сигнала раздражителя)	Латентный период (средняя величина, мкс)
Тактильный (прикосновение)	90 ... 220
Слуховой (звук)	120 ... 180
Зрительный (свет)	150 ... 220
Обонятельный (запах)	310 ... 390
Температурный (тепло и холод)	280 ... 1600
Вестибулярный аппарат (вращение)	400
Болевой	130 ... 490

Зависимость времени реакции от интенсивности силы раздражителя может быть представлена как $t_p = a/i^n + k$, где a — переменная часть времени реакции, k — несократимый минимум, i^n — интенсивность раздражителя; n — постоянная, зависящая от характерных сигналов.

Латентный период реакции зависит также от пространственного положения и величины раздражителя, а также от фона, на котором он действует. Реакция на действие света короче, чем на его появление примерно на 13,5%. Реакция на увеличение интенсивности света имеет больший латентный период.

Важной является дизъюнктивная реакция (реакция выбора), связанная с выдачей ответа известным движением на каждый из ранее известных сигналов.

Латентный период дизъюнктивной реакции пропорционален логарифму альтернативных стимулов при равной вероятности их появления:

$t_p = a + b H$, где t_p — время реакции; a и b — константы;

$H_i = \sum_{i=1}^n P_i \log P_i$ — средняя информация на стимул.

Полученная формула справедлива для простых сенсомоторных реакций.

В процессе упражнений латентный период сенсомоторных реакций сокращается и стабилизируется (рис. 6).

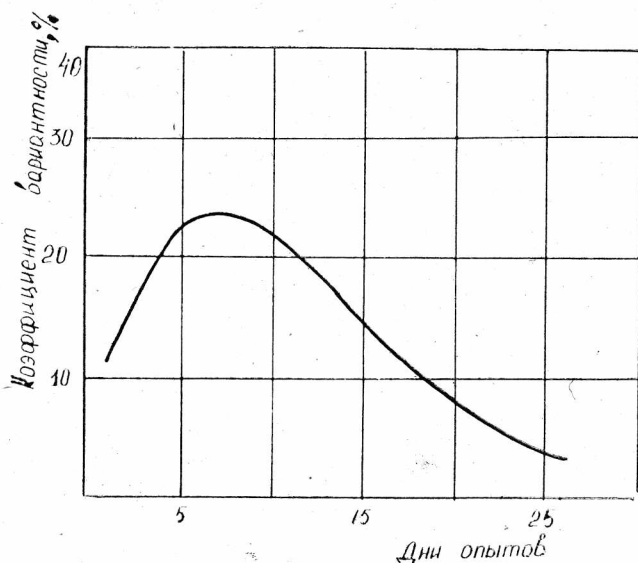


Рис. 6

Зависимость времени двигательной реакции от величины угла наклона оператора относительно горизонтали при постоянной нагрузке может быть представлена в виде $t_p = 0,21 + n(0,05 + 0,033 \alpha)$, где n — величина перегрузки в единицах g ; α — угол наклона кресла оператора относительно горизонтали. На латентный период также влияет конструкция сигнальных устройств, органов управления и организация условий работы.

Зависимость времени получения и переработки информации человеком от ее количества определяется формулой $\tau = 0,03 H$, где H — количество информации, перерабатываемой оператором.

Оператор в основном допускает ошибки в процессе управления. Систематические ошибки (различие между средним значением большой серии измерений и истинной величиной) определяются соотношением

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{N},$$

где $\sum_{i=1}^n e_i$ — сумма всех ошибок (включая нулевые) с учетом знака; N — число испытаний.

Ошибки такого вида устраняются алгоритмическими и конструктивными мерами в соответствии с индивидуальными особенностями операторов.

Для характеристики переменных ошибок используется среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (e_i - \varepsilon)^2}{N - 1}},$$

где ε — систематическая средняя ошибка; e_i — величина каждой отдельной ошибки.

При оценке переменной ошибки для СЧМ ожидаемая переменная ошибка равна:

$$\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ — переменная ошибка компонентов системы. Общая ошибка СЧМ

$$\sigma_{\text{сч-м}} = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2) + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n)^2}.$$

На ошибки оператора влияют условия и темп работы, скорость течения процесса, функциональное состояние нервной системы и индивидуальные особенности оператора, его обученность. Число ошибок операторов может быть значительно уменьшено путем дублирования операторов, введением дополнительных контуров, обеспечивающих операторов информацией об управляющих действиях.

Надежность работы оператора имеет большое значение. В СЧМ наименьшей надежностью обладает оператор. Данные по отказу различных систем по вине оператора приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование системы	Отказ по вине операторов, %
Международная организация ГВФ	50
Ракетные системы	20 ... 50
Энергосистемы	20 ... 30

Надежность оператора, как и точность, зависит от множества факторов, многие из которых недостаточно изучены. Некоторое повышение надежности может быть достигнуто за счет увеличения числа каналов передачи информации (слуховой, световой и т. д.). Значительно снижает надежность шум, уменьшающий концентрацию внимания оператора, а также вибрация, высокая температура, неоптимальная освещенность рабочего места.

Задача оптимизации условий деятельности оператора сводится практически к задаче согласований характеристик технических устройств и особенностей человека-оператора.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗРЕНИЯ

Зрение обладает наибольшей информационной емкостью и пропускной способностью по сравнению с другими органами чувств человека. Человек-оператор через зрительный анализатор воспринимает около 90% всей информации. Необходимо отметить, что анализаторы человека (глаза) функционируют как единая система, а мозг проводит оценку всех сигналов. Человек ощущает цветовые сигналы в диапазоне длин волн от 380 до 760 нм, а наибольшая чувствительность глаз лежит в спектре от 500 до 600 нм.

Эффективность действия света на человеческий глаз (анализатор) характеризуется относительной функцией видности (отношение чувствительности в диапазоне 300...700 нм к максимальной). Относительная функция видности определяется международной комиссией по освещенности (МКО) для дневного зрения при угле наблюдения, равном 2 угловым градусам (рис. 7).

Диапазон чувствительности анализатора по яркости лежит в пределах от 10^{-6} до 10^6 кд/м². Лучшими условиями для работы анализатора считаются яркости от нескольких десятков до нескольких сотен кд/м². Абсолютный порог восприятия точечного светового сигнала составляет 1, дифференциальный порог —

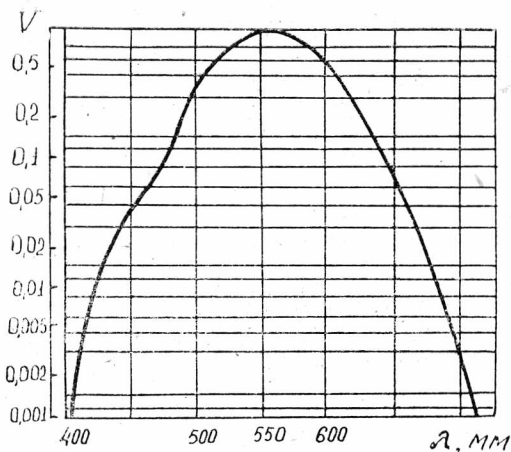


Рис. 7

1% исходной интенсивности сигнала $4 \cdot 10^{-9} - 10^{-3}$ лк. Соотношение перепадов яркостей должно быть не более 1:30. Освещенность фона и яркостный контраст существенно влияют на работоспособность оператора: чем выше освещенность фона, тем выше вероятность ошибочного считывания с индикатора.

Одной из основных характеристик зрения является разрешающая способность, которая, в свою очередь, является основной характеристикой более общего понятия остроты зрения. Острота зрения определяется минимальным расстоянием между двумя точками, при котором их можно различать. Выделяют пять типов остроты зрения: минимальное видение, минимальное восприятие, минимальное разделение, верньерный и стереоскопический. Острота зрения «минимального видения» и «минимального восприятия» характеризуется минимальным размером, который должен иметь объект для того, чтобы быть видимым вообще. Надо отметить, что эти два типа остроты зрения зависят не только от яркости и контрастности, но и от фона, на котором он смотрится. Сказанное можно подтвердить таким примером: звезда, соответствующая углу зрения 0,056 угловых секунд, может быть видна, тогда как темное пятно на фоне летнего неба видно лишь при диаметре 14 угловых секунд. Зависимость остроты зрения «минимального обнаружения» r_d от яркости фона V_f при различных уровнях контрастности показана на рис. 8 (r_d — расстояние между двумя черными линиями). Острота зрения «минимального видения» составляет в среднем одну угловую минуту. На рис. 9 показана зависимость вероятности обнаруже-

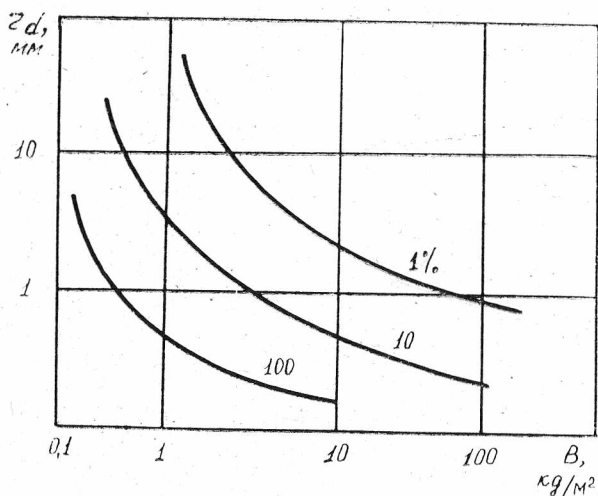


Рис. 8

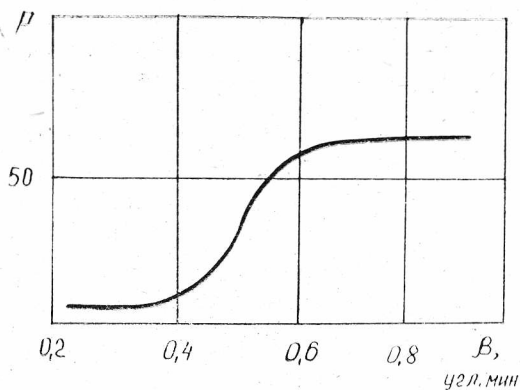


Рис. 9

ния зазора между двумя черными предметами от величины угла зрения β . *Верньерная острота зрения* — это способность оператора совмещать стрелки с отметкой шкалы. Величина ее колеблется в пределах 1...2 угловых секунд.

Стереоскопическая острота зрения состоит в способности глаз определять, какой из двух объектов находится ближе и используется при оценке трехмерных индикаторов. Параметры,

связанные со стереоскопическим зрением, показаны на рис. 10, где O_1 и O_2 положение глаз, а Π_1 и Π_2 — положение двух пред-

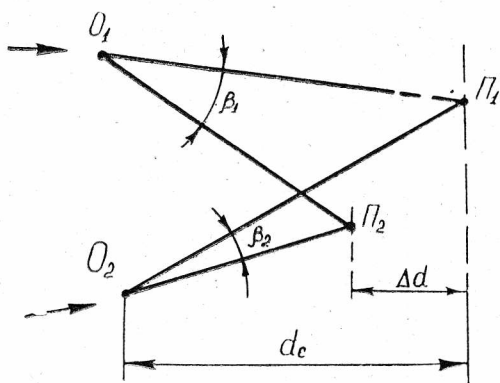


Рис. 10

метов, β_1 и β_2 — углы разнесения предметов для левого и правого глаза. Разность β_2 и β_1 является стереоскопической остротой зрения. Десять угловых секунд — типичное значение стереоскопической остроты зрения у большинства наблюдателей. Пересчет этого значения в величину воспринимаемой глубины при расстоянии наблюдения 45,7 см для двух пятен, разнесенных на 6,4 см, показывает, что наблюдатели в среднем определяют относительную глубину с точностью большей, чем 1,5 мм.

Оптимальным условием восприятия является опознание предметов с размерами 30...40' (оперативный порог составляет не менее 15'). Число объектов, которые может охватить человек в течение одной зрительной фиксации, составляет 4—8.

Под разрешающей способностью по яркости понимается способность глаза различать разность яркостей поверхностей. Если возбудитель и фон имеют соответственно яркости B_v и B_ϕ , то выражение

$$(B_v - B_\phi) / B_\phi$$

может быть использовано для определения яркостного порога, где числитель представляет собой минимально различимую разность в яркостях. Пороговая чувствительность зависит от размеров и формы возбудителя и от положения его изображения на сетчатке глаза.

Основными характеристиками любого анализатора являются пороги — абсолютный (верхний и нижний), дифференциальный и оперативный. *Порог контрастной чувствительности* — это тот контраст, который воспринимается в данных условиях: $k_{\text{пор}} = B_{\text{пор}} / B_\phi$, где $B_{\text{пор}}$ — пороговая разность яркости и фона, впервые обнаруживаемая глазом. Величина $k_{\text{пор}}$ зависит от яркости и угловых размеров объекта, под которым они видны наблюдателю. На рис. 11 показано, что предметы с большими размерами видны при меньших контрастах, с увеличением яркости уменьшается значение порогового контраста.

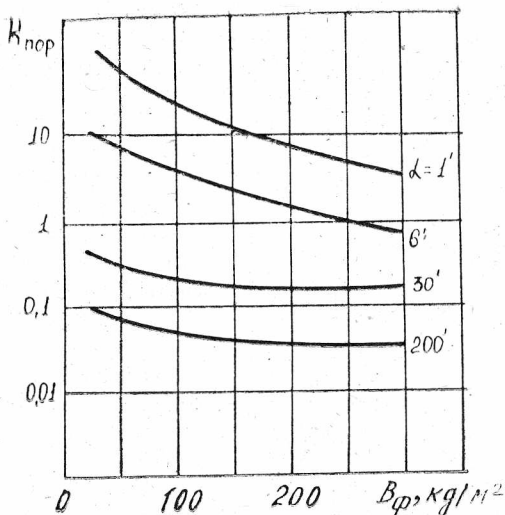


Рис. 11

К временным характеристикам анализатора относится латентный период зрительной реакции, время инерции ощущения, критическая частота мельканий, время адаптации. Латентный период зрительной реакции определяется промежуточным временем от момента подачи сигнала до момента возникновения ощущений. Критическая частота мелькания — минимальная частота, при которой прерывистое изображение воспринимается как непрерывное. Значение критической частоты возрастает с увеличением яркости, углового размера и сложности конфигурации.

Время адаптации — это время самонастройки в изменившихся условиях восприятия. Переход от света к темноте может составлять десятки, а от темноты к свету — единицы минут.

Восприятие света характеризуется тремя специфическими особенностями: светимость или яркость; оттенок — различный цвет (чистые цвета однозначно зависят от длины волны); насыщенность цвета — мера интенсивности цвета.

Любое цветовое ощущение можно воспроизвести определенной комбинацией трех простых (монокроматических) компонентов цвета X , Y , Z . Международной комиссией по освещенности принят колориметрический стандарт, представляющий трехмерную цветовую диаграмму. Использование этой диаграммы на практике затруднено, поэтому широкое распространение получил двухмерный график. Он получен с трехмерного графика

ка за счет использования соотношения $X + Y + Z = 1$, т. е. достаточно знать два цвета, например X и Y , чтобы получить цвет Z . Таким образом, трехмерную цветовую диаграмму можно представить в виде двухмерной проекции на плоскость XOY (рис. 12). На графике геометрическое место спектрально чистых цветов представлено

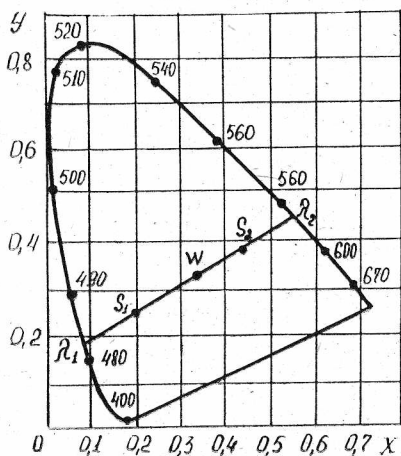


Рис. 12

λ_2 , которые находятся на пересечении прямой линии, проходящей через точку W с геометрическим местом спектрально чистых тонов.

Цветовая насыщенность выражается через чистоту цвета. Чисто белый цвет (точка W) имеет нулевую чистоту. Все остальные цвета имеют чистоту цвета 100% только на подковообразной кривой. Для заданной точки s_1 чистота цвета определяется отношением расстояния от точки W до точки s_1 к расстоянию от точки W до пересечения с подковообразной кривой ($X_{\lambda 1}, Y_{\lambda 1}$).

При заданном цвете индикатора его зрительное воздействие на глаза определяется совокупностью таких факторов, как размер, яркость, контраст и продолжительность воздействия. Наряду с этими факторами имеют значение усталость, мускульное напряжение, режим сердца, адаптация и др. Поскольку число факторов велико, то решение задач, связанных со зрительным воздействием, может давать хорошие результаты.

При конструировании устройств отображения информации обычно некоторые параметры заранее известны. Так известен цвет и размер индикаторного элемента, которые определяют ис-

тых цветов представлено подковообразной кривой, вдоль которой проставлены длины волн, соответствующие определенному цвету. Белый цвет расположен в центре цветового графика в точке с координатами (0,33 : 0,33). После нанесения координат цветности источников света $X_1 : Y_1$ и $X_2 : Y_2$ на цветовой график (соответственно точки s_1 и s_2) можно определить численные значения цветовой тональности и насыщенности. Цветовая тональность выражается через доминирующую длину волны. Так для источника света s_1 доминирующая длина волны λ_1 , а для s_2 —

ходя из эргономических требований. Поэтому разработчик имеет определенную свободу выбора значений других параметров. Например, размеры индикаторного элемента он может компенсировать значением яркости, яркость — контрастностью или временем воздействия. Оптимальное соотношение параметров различно для каждой конкретной задачи.

Полем зрения называется вся видимая двумя глазами область, если оба глаза фиксируются на одной точке. Это иллюстрирует рис. 13, на котором показана область, перекрываемая од-

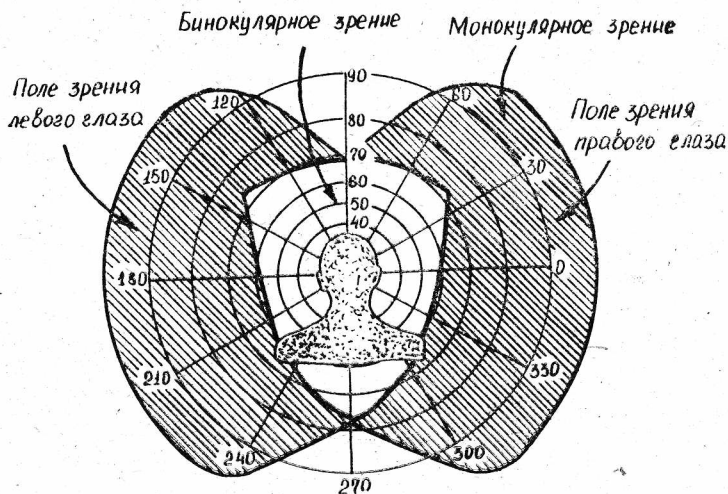


Рис. 13

новременно двумя глазами (биноклярное зрение), и области, видимые раздельно (моноклярное зрение). Биноклярное цветное зрение имеет место в области от оси наблюдения $\pm 30^\circ$, биноклярное черно-белое зрение — от оси наблюдения $\pm 45^\circ$. Области различения цвета для разных цветов: самая узкая — зеленый $40...60^\circ$, затем красный, синий, желтый.

Среднее время наведения глаз в одну точку $0,17$ с, точность определения площади двух фигур или их яркости $\sim 2\%$, разрешающая способность по углу от 3 до 12° при достаточной длительности наблюдений (не менее $0,5$ с). Время адаптации при изменении освещенности от одной до $30-40$ мин. Разрешающая способность глаза по горизонтали выше, чем по вертикали.

Критической частотой мельканий называется та минимальная частота мельканий, при которой возникает их слитное восприя-

тие. Эта частота зависит от яркости, размеров и конфигурации знаков, как показано на рис. 14, 15. Кривые 1, 2, 3 на рис. 15 соответствуют знакам сложной, средней и простой конфигурации.

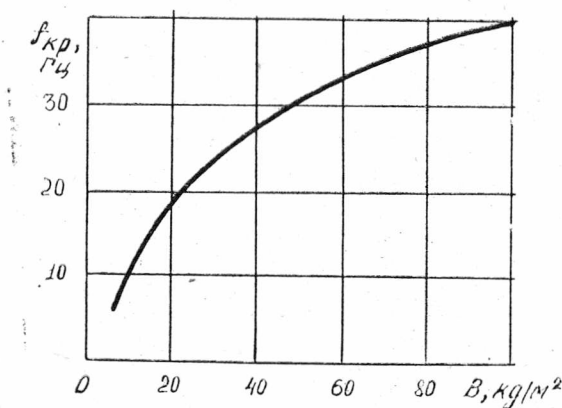


Рис. 14

Условно все поле зрения можно разбить на зону центрального зрения (около 4°) с наиболее четким различием деталей, зону ясного видения (от 4 до $30...35^\circ$), где при условии, что глаз

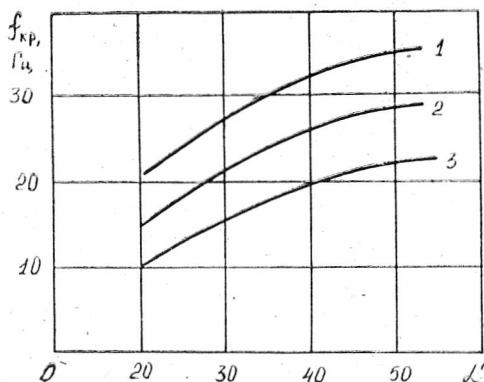


Рис. 15

неподвижен, можно опознать предмет, не различая мелких деталей, и зону периферического зрения (от 30 до $70...90^\circ$), где предметы обнаруживаются, но не опознаются. Длительность по-

исковых движений зрительного анализатора определяется углом, на который перемещается взгляд: $\tau_y = 0,25 + 0,004\beta$, где β — угол перемещения взгляда, градус, τ_y — время перемещения взгляда, которое характеризует «скачок» — фиксацию взгляда для опознания и различения деталей, с.

Продолжительность скачка 0,025 с продолжительностью фиксации взгляда 0,25...0,65 с и более. Время сохранения ощущений составляет 0,2...0,5 с. С частотой более 15...20 Гц они воспринимаются слитно. Для кодирования информации используется мерцание с оптимальной частотой 3...8 Гц (наименьшее зрительное утомление). Минимальная скорость движения объекта, замечаемая глазом (время предъявления 10...15 с), 1...2 уг. мин/с при наличии в поле зрения фиксированной точки отсчета и 15...30 уг. мин/с при отсутствии точки отсчета. При организации информативного поля оператора необходимо, чтобы в зону фиксаций взгляда размером 10° попадало не более 4—8 информативных объектов.

Чувствительность глаза к свету в любое время измеряется максимальным количеством света, которым должна быть освещена поверхность для того, чтобы сделаться видимой. Этот порог изменяется в зависимости от уровня освещенности, к которому глаз приспособился ранее. Темновая адаптация представляет собой увеличение чувствительности глаза после того, как он был некоторое время в темноте. После того как глаз подвергся воздействию света, переход к темноте вызывает вначале быстрое увеличение чувствительности, которая потом в течение 5 мин возрастает более медленно. Затем начинается второе более быстрое увеличение, которое завершается примерно после 40 мин темновой адаптации. Адаптация зависит от участка сетчатки, который возбуждается, и от длины волны света. Время фиксации зависит от целого ряда таких факторов, как свойства информационного поля, способ деятельности наблюдателя, степень сложности искомых элементов. Средняя длительность зрительной фиксации для различных задач информационного поиска приведена в табл. 3.

Таблица 3

Задача	τ_f , мс	Задача	τ_f , мс
Поиск отметки на экране РЛС	370	Поиск простых геометрических фигур	200
Чтение буквы или цифры	310	Фиксация загорания индикатора	280
Поиск условных знаков	300	Ознакомление с ситуацией, обозначенной условными знаками	640

Приведенные данные имеют достаточно широкий диапазон значений $t_{\text{ф}}$. Однако следует учитывать, что будет наблюдаться еще больший разброс этих значений за счет учета влияния внешних условий и навыков оператора.

4. ЭЛЕМЕНТЫ ИНДИКАЦИИ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Большая часть информации, которую человек получает посредством органов чувств, является *визуальной*, поэтому данный вид информации является самым важным. Особенное значение для безошибочного считывания приобретает оптимальное представление информации на знаковосинтезирующих индикаторах [7].

Задачу оптимизации знаковосинтезирующих индикаторов, применяемых при различных условиях наблюдения, нельзя решить, не учитывая характеристики восприятия знаков. Параметры, влияющие на зрительное восприятие: угловой размер объекта, его яркость, контраст с фоном, цвет, время предъявления. Однако знаки имеют определенное начертание, форму, которые влияют на точность опознавания. Начертание и форма знаков определяются как требованиями к надежности восприятия информации, так и технологичностью изготовления индикаторов, количеством синтезирующих знаков, простотой схемы управления. На знаковосинтезирующих индикаторах, как правило, знаки прямоугольной формы, которые воспринимаются лучше, чем знаки округлой формы. Они имеют две основные конфигурации — сегментную и матричную, воспроизводящие все цифры, буквы и знаки стандартного кода.

Инженерная психология определяет оптимальное отношение ширины символа к его высоте, равное примерно 0,6...0,8. Рекомендуемое отношение ширины обводки к высоте знака имеет больший разброс — от 0,166 до 0,05.

Оперативная работа с использованием индикаторных устройств предъявляет ряд жестких требований к размерам знаков, так как от них зависит возможность отображения необходимых сведений. При выборе оптимального размера приходится сталкиваться с противоречивыми требованиями. С одной стороны, для передачи максимального количества информации в поле зрения оператора необходимо разместить возможно больше знаков, следовательно, они должны быть как можно меньше; с другой стороны, чем крупнее знаки, тем легче они воспринимаются. Рекомендации по высоте знака, встречающиеся в литературе, достаточно противоречивы — от 5 до 1° и более. Неоднознач-

ность рекомендаций связана с различием следующих условий, в которых проводились исследования: яркость фона, контраст знака с фоном, их начертание, характеристики фона. Важны количество знаков на единицу площади фона, углы наблюдения, режимы считывания информации.

При разработке системы отображения руководствуются обычно следующими пятью принципами.

Первый (основной) — активизация средствами отображения внимания оператора при увеличении количества информации в сообщении. Например, мигание светового символа на приборном щите или на экране дисплея, появление специального, легко воспринимаемого оператором, дискретного сигнала и прочее.

Второй — минимизация предъявляемой оператору информации, т. е. предъявление оператору по инициативе системы отображения лишь обобщенного сообщения о состоянии РЭС.

Третий — дублирование информации, поступающей на приемный пункт, как средствами телемеханики, так и путем анализа семантических связей в поступающей телеинформации, что повышает достоверность отображаемой информации.

Четвертый — дифференциация символов контролируемых объектов по технологическому признаку, например, отображение разным цветом линий на экране дисплея.

Пятый — дифференциация воспроизведения информации по ее важности и конкретной ситуации, что позволяет повысить оперативность работы оператора. Для реализации этого принципа система отображения должна обладать способностью к сложному логическому анализу поступающей информации с целью выявления ее важности для оператора в данной ситуации.

Кроме размеров индикатора решающую роль в восприятии играет пороговый контраст воспроизводимого знака с фоном, поскольку надежное опознавание возможно, когда контраст превышает значение порогового. Методов расчета порогового контраста по опознаванию цифр в настоящее время не существует. В каждом случае обычно проводят визуальные исследования восприятия знаков для конкретных условий наблюдения, получая при этом частные рекомендации. На рис. 16 приведены кривые контраста, необходимого для опознавания цифр с вероятностью 0,98, в зависимости от яркости фона.

Величина порогового контраста повышается за счет неравномерной яркости свечения сегментов индикатора. Это может быть вызвано принципиальными особенностями индикатора, а также несовершенством схемы управления. Так были проведены эксперименты по пороговому восприятию цифр. Наблюдателям предъявлялись цифры, у которых один из сегментов имел яркость, составляющую 80% остальных. Пritушенный сегмент

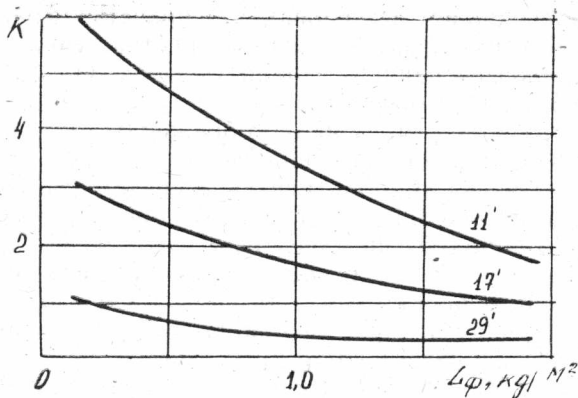


Рис. 16

выбирался таким образом, чтобы при его полном гашении образовалась конфигурация, соответствующая другой цифре [8].

Эксперимент проводился методом пределов. На график (рис. 17) нанесены кривые порогового контраста по обнаружению фигур в виде трапеций. Размеры этих фигур соответствуют размерам притушенных сегментов цифр (6, 8, 9). Сравнение кривых показывает, что в исследуемом диапазоне яркостей фона пороговый контраст по опознаванию цифр в несколько раз выше. В некоторых случаях изображение цифр может быть размыто (канал яркости по краям сегментов, применение оптики для светодиодов).

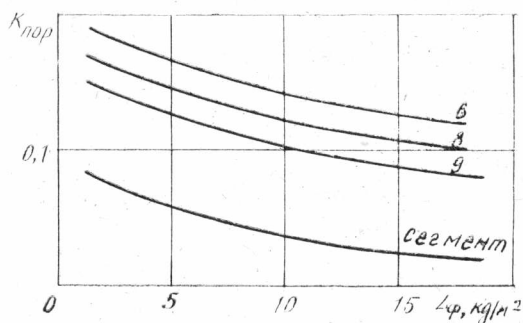


Рис. 17

На рис. 18 проведены кривые порогового контраста для цифр, изображения которых были подвергнуты пространствен-

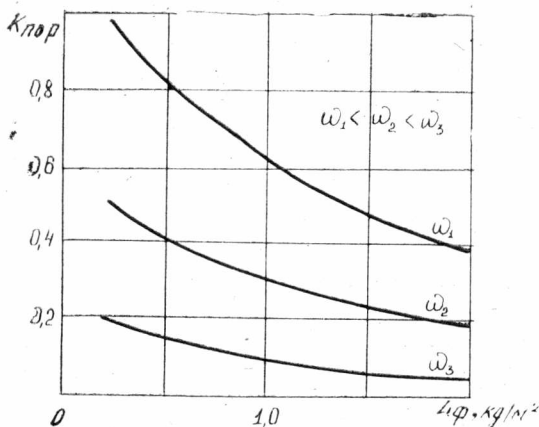


Рис. 18

ной низкочастотной фильтрации. Из графиков видно, что восприятие знаков может быть лучше или хуже в зависимости от частоты среза пространственного фильтра W_{ϕ} .

Увеличивается число ошибок при считывании информации и при ограничении времени наблюдения. По данным [10] уменьшение времени предъявления знаков с 2,5 до 0,05 приводило к увеличению порогового контраста в 3—4 раза при яркости около 10 кд/м^2 .

Разнообразие требований, предъявляемых к элементам индикации, не позволяет использовать один универсальный элемент; поэтому выбор типа для конкретного РЭС представляется сложной задачей.

При конструировании РЭС широко используются устройства индикации в виде готовых матриц типа дисплеев или электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), но часто их создают на основе дискретных элементов индикации. При этом возникают проблемы обеспечения светотехнических, эргономических, конструктивных параметров и психофизиологических свойств оператора. С эргономической точки зрения для удобства наблюдения требуется, чтобы яркость индикатора была близкой к яркости окружающих предметов, чтобы при переводе взгляда на индикатор глазу не нужно было адаптироваться. Поэтому яркость знаков должна быть примерно равна яркости окружающей среды в условиях максимального освещения (350 кд/м^2). Для увеличения контрастности обычно применяют цветные фильтры, которые частично поглощают рассеянный свет. В этом случае яркость фона определяется только фильтром и рассеянным освещением.

При более слабой освещенности яркость фона меньше, в то время как яркость индикатора не изменяется и контраст по яркости не увеличивается.

Область, окружающая активную часть индикатора, влияет на контраст и удобство чтения. Для чтения удобнее всего, когда знаки полностью заполняют отведенное поле, но не касаются контрастной границы. При одном и том же размере знаков наличие рамки, окружающей цифры, улучшает условия наблюдения. Оптимальный размер ограниченного поля должен в 2—3 раза превышать размер знаков индикатора, что обычно влечет за собой разработку оптических фильтров и линз. Анализ разрешающей способности зрения показал, что увеличение размеров выше 5 угловых минут или возрастание яркости выше 300 кд/м² дают несущественный вклад в увеличение разрешающей способности.

Конструктивные рекомендации по созданию систем индикации следующие. Индикаторы располагают относительно друг друга в соответствии с функциональными связями элементов системы, размещая слева направо и сверху вниз. Лицевые поверхности индикаторов не должны отклоняться от площади, перпендикулярной нормальной линии взгляда более чем на 45°. Оптимальной зоной видимости считается зона в пределах 15° от нормальной линии взгляда.

Наибольшую зону допустимых углов обзора (170°) обеспечивают вакуумно-люминесцентные индикаторы — это обусловлено их плоской конструкцией. Наименьший допустимый угол обзора до 40° имеют жидкокристаллические индикаторы из-за снижения реального яркостного контраста при увеличении угла обзора. Фактором, уменьшающим угол обзора вакуумных накальных и вакуумных люминесцентных индикаторов, является значительная глубина «утопленности» знака по отношению к торцевой поверхности индикатора (около 7 мм — для вакуумных накальных индикаторов и около 11 мм — для вакуумных люминесцентных индикаторов). Минимальное расстояние наблюдения индикаторов не менее 50 см. Для отображения слабых сигналов не менее 25 см. Допустимые дистанции наблюдения для цифровых индикаторов ограничиваются до 4 мм вследствие незначительной толщины обводки сегментов (около 60 мкм), а также большого расстояния между отдельными сегментами знака.

При использовании индикаторов с подсветом их яркость должна превышать уровень освещенности окружающей среды не менее чем на 10%, но не более 30%.

Для знаковой и буквенно-цифровой информации рекомендуется высота знаков не менее 3,5 мм, ширина — 0,3 высоты,

межзнаковые расстояния — 0,3...0,5 высоты знака; межстрочные расстояния — 0,75 высоты знака.

При определении размеров индикатора необходимо, чтобы его величина была удобна для большого числа наблюдателей. Этого добиваются за счет увеличения в некоторых пределах размеров символов.* Увеличение размеров выше определенной величины оказывает незначительное влияние на восприятие изображения. Дальнейшее улучшение восприятия изображения возможно за счет повышения яркости или контрастности.

Примерное соотношение для определения размеров символов следующее:

$$H = 0,022 D + k_1 + k_2,$$

где H — высота знака, D — расстояние до наблюдателя; k_1 — поправка на освещенность и условия; k_2 — поправка на значимость (0,1...1,0). Так например, для благоприятных условий чтения размер символа составляет 2 мм при $D = 91$ см. Для важных знаков рекомендуется увеличивать размер до 4 мм. Общие принятые размеры индикаторов для миниатюрных приборов имеет высоту около 3 мм.

Сравнивая зрительные ощущения при заданной мощности сигнала, необходимо сопоставлять энергетические единицы измерения электрической мощности (ватты) с фотометрическими единицами (люменами). Задача фотометрии состоит в определении тех параметров излучения, которые вызывают зрительные ощущения. В общем случае в эту задачу входит определение эффективности визуального воздействия, характеризующей мощность излучения с учетом чувствительности человеческого глаза, и задание величин, связанных с цветом.

Ввиду сложности сравнения элементов индикации по различным параметрам в качестве эквивалента выберем размер излучающей площади экрана в 1 м^2 с яркостью 300 дк/м^2 , выполненного из различных типов элементов индикации. Сравнимые параметры приведены для некоторых элементов индикации в табл. 4.

*Таблица 4

Тип элемента индикации	Светоотдача, лм/Вт		Мощность, Вт	
	реальная	перспективная	реальная	перспективная
Электронно-лучевая трубка	0,9	4,5	270	50
Экран из светодиодов	1,0	50,0	250	5
Газоразрядный	0,5	5,0	500	5
Вакуумно-люминесцентный	2,0	5,0	125	50
Жидкокристаллический	3,0	40,0	1000	100

Сфера возможного применения тех или иных элементов индикации в значительной мере определяется сроком их службы. Например, у вакуумных люминесцентных индикаторов при оптимальной технологии их изготовления долговечность определяется главным образом работоспособностью люминофона и источника возбуждающих электронов — оксидного катода.

Рациональное применение определенного элемента индикации в РЭС зависит от технико-экономических и эргономических показателей последнего. Сравнительные свойства различных элементов индикации приведены в табл. 5.

Таблица 5

Тип элемента	Яркость, кд/м ²	Напря- жение питания, В	Потреб- ляемая мощ- ность, Вт	Сопряжение с микро- схемами
Вакуумно- люминесцентный	500...1500	9...27	50...300	Хорошее
Светодиод	300...1000	1,5...3	—	—
Газоразрядный	300...500	150...200	200...500	Плохое, необходимы высоковольтные ключи
Электро- люминесцентный	30...100	170...200	50...100	Плохое, необходимо переменное напря- жение
Неоновая лампа	20...200	50...150	—	То же

Зрительное восприятие информации зависит от освещенности объектов, попадающих в поле зрения оператора, при этом глаз приспособляется к некоторой средней яркости. Наилучшие условия для работы получаются тогда, когда яркость составляет 30...300 кд/м².

Как известно, универсальных индикаторов нет. Каждый из них имеет свою область применения, в которой они наилучшим образом удовлетворяют технико-экономическим и эргономическим требованиям. С учетом особенностей восприятия оператором зрительной информации можно определить ограничения на светотехнические характеристики индикаторов и выявить параметры, наиболее существенно влияющие на скорость и точность получения информации оператором. В результате совместного анализа ограничений устанавливаются оптимальные условия работы и применимости индикаторов.

Для правильного использования элементов индикации необходимо провести сравнение их характеристик, перечислив достоинства и недостатки (табл. 6).

Анализ приведенных факторов указывает на необходимость обобщенной или комплексной оценки элементов индикации, которая представляется как процедура оптимизации выбора типа и параметров индикатора. Функционирование элемента индикации описывается рядом параметров с заданными параметрическими и функциональными ограничениями.

Методика применения того или иного индикатора в разрабатываемом РЭС базируется на использовании обобщенной целевой функции, которая может быть представлена как набор определенных частных критериев. Например, критерий видимости V_{ϕ} представляет собой отношение рабочего контраста k_p к пороговому k_n : $V_{\phi} = k_p/k_n$.

Пороговый контраст зависит не только от яркости знака и фона, но и от формы знака (в этом случае должен быть проведен учет особенностей восприятия оператором знака).

Выбор определенного типа индикатора зависит от многих параметров, существуют дополнительные критерии, такие как стоимость, конструктивность, технологичность и т. д. При эксплуатации необходимо учитывать не только взаимосвязь параметров индикаторов, но и их значимость для данного типа РЭС.

Оптимизация может проводиться по следующему принципу. Вводится понятие обобщенного критерия F_0 , который определяется по трем локальным критериям:

$$F_0 = \alpha F_1 + \beta F_2 + \gamma F_3,$$

где F_1 — критерий обеспечения основной функции индикатора — преобразования электрического сигнала в знак, обеспечивающий точность и скорость восприятия информации человеком-оператором; F_2 — критерий обеспечения надежности с учетом особенностей восприятия знака оператором; F_3 — критерий обеспечения конструктивности (совместимости с РЭС); α, β, γ — коэффициенты влияния (весовые коэффициенты) локальных критериев F_1, F_2, F_3 на обобщенный критерий.

Как правило, критериям придается характер аналитического выражения. Коэффициенты α, β, γ представляются в относительных единицах.

Критерии F_1, F_2, F_3 и математическая модель обобщенного критерия качества выбираются из условия минимизации. Чем меньше значение функции F_0 , тем лучше данный параметр.

Результаты расчетов по данной методике показывают, какому индикатору в данном РЭС можно отдать предпочтение. Для получения экспертных оценок (коэффициентов α, β, γ) используют различные данные по индикаторам, а затем по 10-балльной системе оценок представляют вес каждого индикатора в данной системе в зависимости от трех локальных критериев. В качестве

Тип индикатора	Применение	Свето-отдача, лм/Вт	Эффек-тивность, лм/Вт	Яркость, кд/м ²	Срок наработки, ч	Цвет
Несоновая лампа	Применяют в качестве элементов индикации в РЭС широкого применения. Относится к газоразрядным приборам, применяется в радиоприемниках и магнитофонах в качестве индикатора настройки или регулировки, может быть использован как измеритель тока или напряжения в цепях без изменения режима работы аппарата, т. к. имеет большое входное сопротивление.	0,3	15	20—200	50—5000	Оранжево-красный
Электронно-световой		100	15	40—80	500—1000	Зелено-голубой
Газоразрядная панель	Используется для создания знакографической индикации в электронно-измерительных приборах	100	15	40—170	1000	Оранжево-красный
ЭЛТ	Предназначены для получения видимого изображения на экране; свечением под воздействием электронов			20—40	100—2000	Все цвета
Светодиод	Широко применяется в РЭА в качестве визуального индикатора состояния полупроводниковых, интегральных и гибридных микросхем	5—15	5—15	10—350	1000	Желтый, красный, зеленый
Вакуумно-люминесцентный	Хорошо согласуется по своим параметрам с интегральными микросхемами, широко применяется в микроЭВМ; калькуляторах, измерительных приборах и т. п.	1,5—25	0,01—2	300—500	9000—10000	Зеленый, красный
Жидкокристаллический	Все индикаторы работают на переменном токе, с точки зрения потребляемой мощности это наиболее маломощный из всех типов индикаторов (удельная потребляемая мощность 0,25 мВт/см ²)	—	—	—	8000	—

экспертов используют квалифицированных специалистов в области применения индикаторов.

Метод экспертных оценок не дает абсолютных значений показателей качества индикатора для данной РЭС, а позволяет лишь отдать предпочтение тому или иному индикатору, т. е. расставить индикаторы по мере убывания или возрастания их достоинств, что и требуется для выбора одного индикатора из нескольких. Недостатки, вызванные неоптимальностью конструкции устройств отображения информации, могут в некоторой степени преодолеваются за счет высокого уровня навыка оператора. Поэтому при использовании индикаторов в РЭС необходимо установить связь между функциональными требованиями оператора и возможностями радиоэлектронной аппаратуры, в том числе и количественной оценкой параметров элементов индикации исходя из конкретных сведений о поведении человека.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ РЭС

Органы управления РЭС обычно устанавливаются на передней панели, используются для решения следующих задач: ввод командной информации, установка требуемых режимов аппаратуры, регулировка различных параметров, вызов информации для контроля и т. д. Органы управления классифицируются по характеру выполняемых человеком движений, по назначению и характеру использования оператором [4]. По конструктивному исполнению органы управления разделяются на целый ряд подгрупп: кнопки, тумблеры, рукоятки, селекторные переключатели, педали и т. п. При выборе и проектировании органов управления необходимо учитывать инженерно-психологические требования.

Обеспечению качества систем управления способствует система стандартов «человек-машина». Эти стандарты устанавливают требования к рабочим местам оператора, пульту и органам управления и др. Рациональное оборудование рабочего места оператора имеет существенное значение в надежном управлении технической системой. Большое значение при этом имеет конструктивное выполнение пульта и органов управления. Пульты управления стационарных объектов с индивидуальными рабочими местами должны соответствовать эргономическим требованиям. Приведем некоторые требования к рабочим местам оператора, к пультам и органам управления.

Пульт управления. Размеры пульта должны соответствовать размерам базового изделия, на котором он установлен.

Если пульт вынесен отдельно и требуется просматривать пространство за ним, высота его для работы в положении сидя не должна превышать 1100 мм от пола. Пульты управления для работы в положении сидя должны иметь пространство для ног оператора с размерами в миллиметрах не менее: 600 — по высоте; 400 — по глубине (на уровне коленей); 600 — по глубине (на уровне пола); 500 — по ширине. Для удобства работы оператора у пультов предусмотрена подставка для ног. Панели пультов управления не должны иметь посторонних элементов, затрудняющих работу оператора (неоправданные функциональным назначением пульта выступы, углубления, разноплоскостность, выступающие элементы наружного крепежа и т. п.). Надписи и обозначения, не относящиеся непосредственно к работе оператора (заводской номер, фирменный знак и т. п.), не должны располагаться на лицевых частях панелей пультов управления. Поверхности пультов управления должны обладать диффузным или направленно-рассеянным отражением светового потока, исключающим появление бликов в поле зрения оператора. При необходимости пульта управления могут оборудоваться выдвижными ящиками для хранения документации и досками (выдвижными) для ведения записей и размещения дополнительных переносных приборов.

Кресло оператора должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности, не затруднять рабочих движений и обеспечивать условия для отдыха человека в кресле. Кресло должно иметь регулируемую высоту поверхности сиденья и угол наклона спинки, при необходимости также высоту спинки, высоту подлокотников, угол наклона подлокотников, высоту подголовника, высоту подставки для ног. Кресло оператора должно способствовать ослаблению вибрационных и ударных воздействий.

Органы управления и средства отображения информации на панелях пульта управления группируются по их функциональному применению. При размещении органов управления необходимо выполнить следующие эргономические требования:

органы управления располагаются в зоне досягаемости моторного поля;

наиболее важные и часто используемые органы управления расположить в зоне легкой досягаемости моторного поля;

органы управления разместить на панелях пульта в такой последовательности, в какой происходит их включение, что упрощает управление;

органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, группируются таким образом,

чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;

наиболее важные и часто используемые органы управления и средства отображения информации разместить в оптимальной зоне: аварийные — в легкодоступных местах, но не в оптимальной зоне; второстепенные, периодически используемые средства отображения информации и органы управления — не в оптимальных зонах; при этом руководствуются в основном правилами группировки и взаимосвязей между ними.

При групповом размещении индикаторов для контрольного считывания необходимо выполнить следующие правила.

1. При наличии в группе шести и более индикаторов располагать их в виде двух параллельных рядов (вертикальных или горизонтальных).

2. Не делать более пяти-шести горизонтальных и вертикальных рядов.

3. При наличии в панели более 25—30 индикаторов компоновать их в две-три зрительно различимые группы. Лицевые поверхности индикаторов следует располагать в оптимальной зоне информационного поля в плоскости, перпендикулярной к нормальной линии взгляда оператора, находящегося в рабочей позе.

Органы управления размещаются так, чтобы во время работы оператору не требовалось перекрещивать руки или при включении закрывать рукой индикатор. При правильно размещенных органах управления оператор во время работы не должен думать о манипуляциях управления: расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места; расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих ног и рук оператора. Пульт управления не должен быть выполнен монотонно и должен быть хорошо освещен.

Рычаги управления. Рычаги управления применяются в тех случаях, когда не требуется быстрой реакции переключения. Конструктивное исполнение рычагов управления и их установка должны соответствовать определенным требованиям. Минимальная длина свободной части рычага управления (вместе с рукояткой) в любом его положении должна быть не менее 50 мм для захвата пальцами и 150 мм для захвата всей кистью. Форма и размеры рукояток рычагов должны обеспечивать максимальное удобство их захвата и надежного удержания в процессе управления. Рычаги управления необходимо устанавливать на рабочем месте так, чтобы их рукоятки при любом положении рычага находились в пределах зоны досягаемости моторного поля оператора. Рукоятки рычагов, перемещаемых одной рукой, необходимо размещать со стороны правой или левой руки

в пределах досягаемости при сгибе в локтевом суставе под углом $90...135^\circ$ при положении усилия по направлению «прямо на себя — от себя». Рукоятки рычагов, перемещаемых двумя руками, размещают в плоскости симметрии сидения с отклонениями не более 50 мм. Для использования рычагов точного и непрерывного регулирования в отдельных случаях должна быть обеспечена опора.

Кодирование рукояток рычагов управления, в том числе и специального назначения (аварийных, противопожарных и др.), а также рычагов, объединенных в функциональные группы, необходимо проводить выбором их соответствующей формы, размера и цвета, а также местом расположения. Рычаги управления должны иметь хорошо видимые, обозначающие назначение, а также указатели положения, надписи, помещаемые как непосредственно на рычагах, так и рядом с ними. Рычаги, применяемые для ступенчатых переключений, должны иметь надежную фиксацию промежуточных и конечных положений. Рычаги управления должны быть расположены так, чтобы при их перемещении исключалась возможность случайного включения (выключения) смежного рычага.

Интервалы между рукоятками смежных рычагов управления, расположенных в параллельных плоскостях, должны быть не менее 50 мм при перемещениях одной рукой последовательно или в случайном порядке; 100 мм — при перемещении одновременно двумя руками; 130 мм — при работе в рукавицах или перчатках; 150 мм — при отсутствии визуального контроля за рычагами. Рычаги должны быть расположены так, чтобы при перемещении их руки оператора не упирались в стенку или в соседнюю рукоятку.

Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Применяются для осуществления операций быстрого включения—выключения и переключения электрических цепей при необходимости зрительного контроля положения переключателей. Форма и размеры приводного элемента (часть выключателя, посредством которой производится приведение в действие его подвижной системы пальцами руки человека-оператора) должны соответствовать антропометрическим данным пальцев человека и обеспечивать максимальное удобство захвата приводного элемента. При наличии на панели большого числа выключателей и переключателей их приводные элементы следует кодировать формой, размерами и цветом. Допускается кодирование цветной меткой на торце приводного элемента.

При переводе приводного элемента из одной позиции в другую осуществляется перепад величин упругого сопротивления, а также слышен характерный щелчок. Положение переводного

элемента «Вверх», «Вправо», «От себя» должно соответствовать рабочему состоянию «Включено», а положение приводного элемента «Вниз», «Влево», «К себе» — состоянию «Выключено».

При расположении выключателей и переключателей типа «Тумблер» в ряд не допускается расположение такого ряда «По вертикали» или «В глубь» панели от оператора за исключением отдельных случаев, обусловленных особыми условиями применения. Тумблеры, используемые как аварийные, следует защищать специальными крышками или размещать в глубине панели.

Надписи и символы на панели управления, обозначающие функции выключателей типа «Тумблер», не должны перекрываться приводными элементами, а также рукой оператора. Величина перемещения приводного элемента должна быть достаточной для правильного определения его положения на глаз. В двухпозиционном переключателе типа «Тумблер» угол перемещения приводного элемента из одного положения в другое должен составлять 40...60°, в трехпозиционном — 30...50°.

Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Кнопочные и клавишные переключатели и выключатели применяют для осуществления операций быстрого включения и выключения, для выбора нужного параметра, набора и ввода команд управления. Приводной элемент кнопочных выключателей и переключателей в сечении горизонтальной плоскости должен иметь круглую или прямоугольную форму со стороны рабочей поверхности. Приводной элемент клавишных переключателей и выключателей должен быть прямоугольной формы. Для надежного фиксирования пальца рабочая поверхность кнопок и клавиш должна иметь небольшую вогнутость.

Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели должны иметь в момент нажатия на приводной элемент обратную связь (упругое сопротивление пальцу или кисти руки человека-оператора, а после завершения действия сигнал: механический — резкое падение упругого сопротивления, акустический — «щелчок» или визуальный — световой сигнал).

Для обозначений функций приводных элементов выключателей и переключателей следует применять надписи и символы. Надписи должны быть короткими и понятными при быстром чтении, сокращения используются только общепринятые. Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели должны иметь индикацию показаний «Включено» или «Выключено» (для фиксирующихся выключателей и переключателей — визуально; для нефиксирующихся переключателей и выключателей — световым сигналом или специальными несветящимися индикаторами). Кнопочный выключатель «Стоп» выполняется красного

цвета больших размеров, чем все остальные, и размещается в самом удобном, доступном месте.

Кнопочные выключатели и переключатели электрических пусковых устройств должны быть защищены от попадания металлической пыли и масла. У оборудования с большим фронтом обслуживания предусматривается возможность выключения из нескольких точек. Приводные элементы кнопочных и клавишных выключателей и переключателей, используемых для наиболее ответственных операций, во избежание случайного нажатия следует ограждать ободком, делать бортики между кнопками и клавишами, помещать их ниже поверхности используемой панели или применять дополнительные устройства блокировки.

Поворотные переключатели и выключатели применяют для операций включения—выключения, последовательного переключения и для плавного (непрерывного) или ступенчатого (дискретного) регулирования. Поворот выключателя или переключателя по часовой стрелке приводит к включению, увеличению параметра, а против часовой стрелки — к выключению, уменьшению параметра. При этом соблюдается принцип соответствия движения указателя индикаторного устройства движению органа управления.

Поворотные выключатели и переключатели (маховики управления, штурвалы и рулевые колеса) предназначены для выполнения ступенчатых переключений и плавного динамического регулирования одной или двумя руками. Форма и размер рукояток вращения маховиков должны обеспечивать максимальное удобство их захвата и надежного удерживания в процессе управления. Направление вращения маховиков управления и штурвалов может осуществляться по часовой и против часовой стрелки. При этом (за исключением маховиков управления клапанами) обеспечивается соответствие направления движения управляемого объекта направлению вращения маховика и штурвала. Поворот маховика управления клапанами по часовой стрелке должен приводить к закрытию клапана, уменьшению параметра, а против часовой стрелки — к его открытию, увеличению параметра. Направления быстрых вращательных движений, осуществляемых одновременно левой и правой рукой на двух маховиках, должны быть противоположными. Конечные положения маховика и штурвала должны быть четко обозначены и при необходимости ограничены специальным стопором (упором). Маховики, предназначенные для ступенчатых переключений, должны иметь надежную фиксацию и обозначение их промежуточных положений.

Для подачи аварийных, предупреждающих и уведомляющих сигналов в помещении постов управления применяются звуко-

вые сигнализаторы неречевых сообщений. Они обеспечивают привлечение внимания работающего оператора неожиданностью подачи сигнала, изменением уровня звукового давления, модуляции по частоте и уровню звукового давления, увеличением длительности звучания, частоты следования. Однако они не должны перегружать слуховой анализатор работающего оператора, утомлять его и отвлекать внимание других операторов. В звуковых анализаторах при наличии ручного отключения должен быть обеспечен автоматический возврат схемы в исходное положение для получения очередного управляющего сигнала.

Психологические исследования деятельности оператора помогают оптимизировать характеристики взаимодействия человека с технической частью систем контроля путем разработки методики инженерно-психологических экспериментов, формирования требований к построению систем отображения информации и к степени автоматизации.

Наиболее наглядно результаты анализа работы оператора проявляются в инженерно-психологических требованиях к способам индикации аварийных режимов. Выявив в результате изучения конкретного содержания действий потребности оператора в информации и сформировав принципиальные требования к аварийной индикации, можно дать предположения, направленные на оптимизацию предъявлений соответствующих сигналов. При этом оптимизация осуществляется за счет внедрения следующих инженерно-психологических рекомендаций: уточнение содержания надписи на табло, изменение размещения сигнализатора, улучшение оформления лицевой части индикатора, изменение тока и частоты звукового сигнала и др.

В табл. 7 приведены данные, свидетельствующие о повышении эффективности сигнальных устройств после реализации инженерно-психологических рекомендаций. Из этих данных видно, что полностью исключены ошибки и задержки опознания обнаруженного сигнала и что повышение эффективности достигнуто благодаря определенности сигнала. Что касается привлекающего эффекта, то внедрение рекомендаций существенно повысило вероятность быстрого обнаружения разрозненно расположенных сигнализаторов и приборов.

Конструирование индикаторов и пультов управления с учетом логических принципов составляет основную часть инженерной психологии и обусловлено тем, что информация о ходе процесса контроля и управления поступает к человеку в виде показаний стрелочных приборов и счетчиков, телевизионных и радиолокационных изображений, набора условных знаков, цифр и букв, акустических сигналов и т. д., создаваемых индикатором. Через пульт управления поступают сигналы управления процес-

Таблица 7

Устройства отображения информации	Вероятность		Время, с	
	обнаружения	опознания	обнаружения	опознания
Электромеханический индикатор	$\frac{0,22^*}{0,92}$	$\frac{0,22}{0,92}$	$\frac{1...250}{2...20}$	$\frac{3...300}{2...5}$
Отдельная сигнальная лампа	$\frac{0,70}{0,98}$	$\frac{0,70}{0,98}$	$\frac{2...7}{2...5}$	$\frac{3...15}{2...5}$
Световое табло	$\frac{0,85}{0,98}$	$\frac{0,82}{0,9}$	$\frac{2...48}{2...10}$	$\frac{2...100}{2...5}$
Звуковой сигнализатор	$\frac{1}{1}$	$\frac{0,92}{1}$	$\frac{1...3}{1...3}$	$\frac{5...10}{\text{До } 5}$

* В числителе указаны данные до внедрения рекомендаций, в знаменателе — после внедрения.

сом контроля и управления. При выборе соответствующего типа индикатора руководствуются следующими психологическими критериями:

- различимость сигналов по модальности;
- пропускная способность или скорость передачи информации;
- род информации (командная или осведомительная);
- форма сигналов (способ кодирования);
- масштаб изменения сигналов.

Эти критерии недостаточно разработаны и на практике имеют дело с такой характеристикой, как читаемость индикаторов, оцениваемой показателем скорости и точности различения, опознания и интерпретации показаний. Читаемость стрелочных индикаторов в сильной степени зависит от их формы. Результаты экспериментальных исследований читаемости стрелочных индикаторов, имеющих различную форму шкалы, приведены в табл. 8.

Таблица 8

Характеристики индикатора	Форма шкалы				
	счетчик (открытое окно)	круговая	полу-круглая	горизонтальная	вертикальная
Максимальный размер, см	4,2	5,5	11,0	17,7	17,7
Ошибка считывания, %	0,5	10,9	16,6	27,5	35,5

Как видно из табл. 8, наиболее точно читаются показания счетчика, наихудшую читаемость имеет вертикальная шкала. Прен-

мущества счетчиков обусловлены простотой чтения, сводимой к опознанию цифр. Скорость и точность чтения стрелочных приборов зависит от того, что является подвижным элементом. При коротких экспозициях (менее 0,5 с) точнее читаются приборы с подвижными шкалами. С увеличением экспозиции преимущество переходит к приборам с неподвижными шкалами. В любом случае каждый из приборов находит разное применение в зависимости от рода решаемых оператором задач (табл. 9).

Таблица 9

Задача	Тип индикатора		
	С подвижной стрелкой	С подвижной шкалой	Счетчик
Количественное чтение	Приемлем	Приемлем	Наиболее приемлем
Контрольное чтение	Наиболее приемлем	Неприемлем	Неприемлем
Качественное чтение и слежение	Наиболее приемлем	Приемлем	Неприемлем
Установка органов управления	Наиболее приемлем	Приемлем	Наиболее приемлем

Кроме того, читаемость зависит от начала отсчета (точнее, от начала слева), размера шкал (для круговых — оптимальный диаметр около 60 мм) и угловых размеров приборов (оптимальный 2,5...5°). Одним из важных факторов, влияющих на точность и скорость чтения шкал, является численное значение цены делений и оцифровка.

При конструировании приборных панелей возникает задача пространственного расположения приборов с учетом условий пространственного видения. Одной из главных характеристик пространственного видения является поле зрения, определяемое по величине того пространства, которое может видеть неподвижный глаз. Поле монокулярного зрения при нормальном освещении и без ограничения времени восприятия для объектов белого цвета 90...94° от центра, 60...62° внутри, вниз—65...78°, вверх—55...60°. Поле бинокулярного зрения увеличено в горизонтальном направлении примерно до 120...180°. Поле хроматического зрения — меньше, при экспозиции 0,2 с оно составляет 18%.

На границах поля зрения человек может только заметить появление объекта, но не в состоянии воспринять его форму. Точность и скорость чтения с удалением прибора от центра поля зрения падает. Выделяются две области приборной панели. В центральной области наблюдатель периодически видит стрелки

всех приборов, и для перевода прибора в зону фавельного зрения требуются только установочные движения глаз. Во второй — периферийной — области оператор не видит ни положения стрелок, ни самих приборов, так как они расположены за границами поля и чтению показаний прибора предшествуют поисковые движения глаз. Оптимальные размеры указанных зон показаны на рис. 19 при дистанции наблюдения 80 см. Оптимальным размещением приборов является их расположение по внутренней стороне сферической поверхности. Разрабатывая конструкцию приборной панели, необходимо также учитывать динамические характеристики операторов.

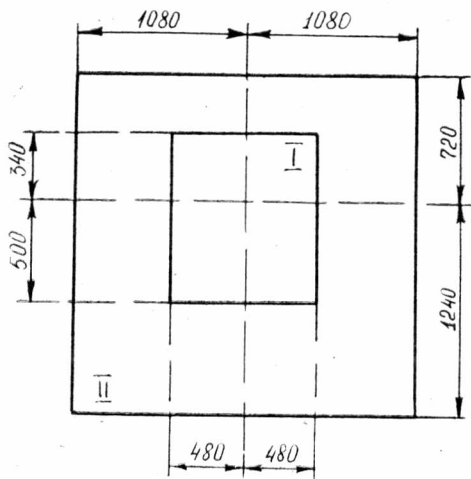


Рис. 19

Приборы, решающие одну задачу, необходимо выделить в целостный комплекс, при этом наиболее значимую группу расположить в центре панели. В тех случаях, когда оператор должен одновременно наблюдать как за поведением объекта, так и за показаниями приборов, необходимо согласованное с расположением объекта расположение приборов на панели.

При конструировании индикаторов систем контроля и управления возникает задача оптимального начертания цифр, букв и

других знаков. Скорость и точность опознания цифр и букв зависит от их формы. Разные типы букв и цифр несут разное количество информации. При диффузионном освещении оптимальное отношение толщины обводки к высоте цифр составило от 1 : 6 до 1 : 10. На дальних расстояниях белые цифры на темном фоне различаются лучше, чем черные на белом. Оптимальным отношением ширины к высоте является 1 : 2. При опознании букв стандартного машинописного шрифта возникают примерно такие же ошибки, что и при опознании цифр. Большинство из них обусловлено сложностью начертания и сходством элементов разных букв. При опознании как цифр, так и букв, имеющих криволинейные элементы, ошибки получаются больше. Точнее опознаются буквы О, С, Т, Р, У, Ф, Ч, Д, К, Н, Б, Г, А, Е, И и цифры 4, 7, 5, 3, 0, 1.

При опознании фигур быстрее и точнее опознаются те, кото-

рые имеют резкие перепады (треугольник, ромб, прямоугольник, квадрат). При формировании наборов знаков целесообразно использовать дополнительные опознавательные признаки, позволяющие различать знаки различного вида (например, окраска знаков в различные цвета, применение обводки разной толщины и т. д.), сопровождать появление каждого нового знака дополнительным сигналом (увеличение яркости, изменение частоты мельканий света). Знаки, относящиеся к одному и тому же параметру, рекомендуется объединять в группы. При переработке информации человек оперирует с целостными пространственными образами, решая при этом сложные вычислительные задачи. Графически индикация может быть использована для комплексного отображения ряда параметров управляемого объекта, чему способствует цветовое кодирование (использование цвета в качестве алфавита).

Человек может различать до 300 000 цветов. С наибольшей точностью опознаются цвета: фиолетовый, голубой, зеленый, желтый, красный. Натуральный цвет обнаруживается только при белом (дневном) освещении и меняется при хроматическом освещении. В условиях сумеречного зрения цвет перестает быть видимым. Видимый цвет предмета изменяется с удалением. Точность различения цвета объекта зависит от величины окрашенной поверхности: чем больше поверхность, тем точнее распознается цвет. Цвет влияет также на восприятие человеком времени: желтый и коричневый цвета приводят к недооценке времени, а красный, зеленый, синий и особенно серый — к переоценке.

Цветовое кодирование широко применяется для передачи сигналов об опасности. Сигналами опасности являются теплые тона (красный — требование остановки действия, оранжевый — предупреждение о серьезной опасности, желтый — внимание), безопасности — холодные (зеленый — отсутствие опасности, голубой — не начинать действий). Цветом можно создать «эмоциональный фон», повлияв на уровень работоспособности, снять напряжение, ощущение жары или холода.

Важной проблемой является передача сигналов от человека к машине. Характеристики моторного «выхода» человека обуславливают требования к конструкции органов управления. Основными данными, которые могут служить отправными точками конструирования органов управления, являются следующие. Диапазон скоростей движения рук простирается от 0,01 (при регулировках) до 8000 м/с (при метании). В производственных операциях он простирается от 5 до 800 м/с. В направлении «к телу» рука движется быстрее, чем в противоположном. Скорость движения рук в вертикальной плоскости больше, чем в горизон-

тальной. Вращательные движения совершаются примерно в полтора раза быстрее, чем поступательные. Более экономичным является движение толчком, с большой скоростью в начале движения. Наиболее точными и быстрыми являются движения, направления которых совпадают с направлением сигнала, согласованы с ним по пространственным и временным характеристикам.

При оформлении рабочего места оператора правило «совместимости» индикаторов и органов управления особенно важно соблюдать при высоких скоростях действия, при возможности стрессовых ситуаций. Кроме того, сопротивление, форма и величина органов управления должны рассчитываться с учетом характеристик не только двигательного, но и чувствующего аппарата руки.

Наиболее очевидное приложение результатов психологических и физиологических исследований в области зрительного восприятия и конструирования РЭС заключается в правильном выборе освещения, облегчающего выполнение задачи. Анализируя изображение на экране дисплея, оператор имеет дело с тремя уровнями яркости: общее освещение помещения, яркость фона экрана дисплея и уровень яркости сигнала. Интерес представляет минимальная контрастность между сигналом и фоном (пороговый контраст), которая может быть обнаружена. Минимальный пороговый контраст и наименьшее время обнаружения соответствуют случаю, когда яркость, к которой глаз адаптировался, примерно равна яркости поверхности, окружающей наблюдаемый предмет. Окружающее освещение той же яркости, что и яркость фона дисплея, выгодно в том отношении, что при нем уровень адаптации глаза поддерживается близким к оптимальному.

На остроту зрения существенно влияет вибрация. На низких частотах наибольшее влияние на зрение оказывает вертикальная вибрация. Глубина восприятия падает в интервале частот от 25 до 40 и от 60 до 90 Гц. Скорость считывания падает при вертикальной вибрации на низкой частоте. Противовибрационный монтаж аппаратуры, разумный выбор рабочего места оператора и мягкое сидение стула могут в значительной степени уменьшить вредное воздействие вибрации.

Среда, в которой работает человек-оператор, должна обеспечивать максимально комфортные условия, поэтому конструировать РЭС необходимо с учетом человеческих факторов. Так, например, эксплуатация дисплеев, телевизионных экранов требует решения следующих вопросов:

- расположение (или ориентация) плоскости экрана относительно глаза наблюдателя;

- предметное окружение экрана;

цветовой фон экрана;

яркостный контраст между светящимся экраном и фоном.

Экран и место оператора должны быть расположены по отношению друг к другу так, чтобы оператор мог видеть наблюдаемый им объект изображения без искажений и ощутимого напряжения зрения и других физиологических систем организма. Установлено, что угол зрения просмотра изображения должен быть ниже линии горизонта наблюдателя в пределах 15° . В таком положении мышечная система глаз находится в наиболее спокойном расслабленном состоянии, и поэтому глаза не утомляются. Нормальная линия взора или визирования при этом должна быть расположена под прямым углом к лицевой поверхности (плоскости экрана) с возможным отклонением от этой плоскости не более чем на 45° . В противном случае получается искаженное изображение, а сферическая поверхность экрана кинес-

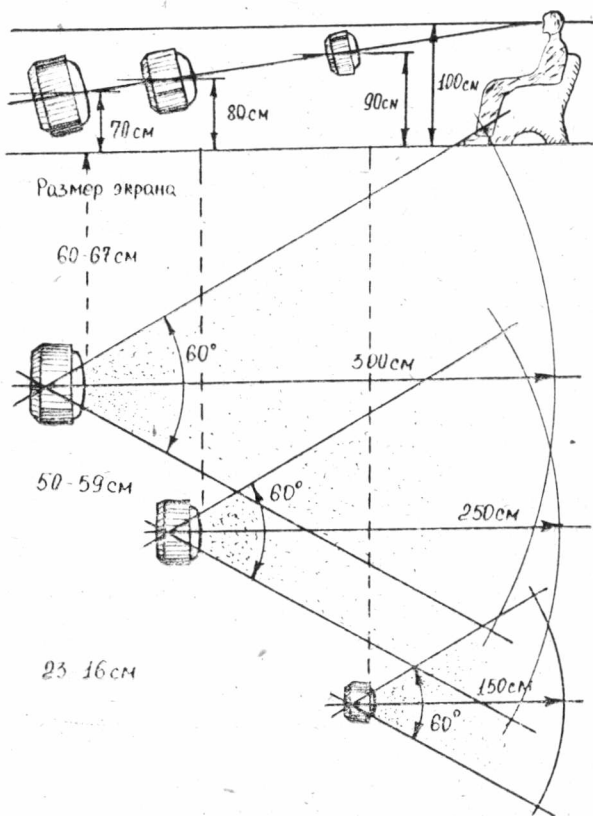


Рис. 20

копа усиливает этот нежелательный эффект в его боковых и нижних частях. Оптимальные и допустимые зоны видимости (углы обзора в горизонтальной и вертикальной плоскостях) показаны на рис. 20.

Выполнение указанного требования эргономики достигается путем наклона или поворота всего корпуса РЭС с помощью специального механического устройства или установкой кинескопа под определенным углом, предусмотренным конструктором еще при компоновке основных функциональных узлов РЭС во время работы над проектом [2].

У подавляющего большинства советских и зарубежных моделей телевизоров и дисплеев плоскость экрана кинескопа в корпусе расположена вертикально. Для улучшения качества восприятия информации человек-оператор вынужден или искусственно создавать наклон экрана, или устанавливать последний на уровень стандартной линии визирования, что противоречит существующим рекомендациям [3].

Для восприятия изображения без искажения оператор должен находиться в видеозоне-секторе, образуемом дугой окружности с радиусом, равным четырем-пяти диагоналям экрана телевизора, и двумя радиусами, расположенными под углом 60° друг к другу.

Основным параметром видеозоны является ее длина, которая зависит от размера кинескопа (рис. 21). Так, при размере кинескопа 51 см длина видеозоны должна быть не менее 20...250 см, а при 61 см — 240...300 см.

Экран кинескопа является источником света, имеющим определенную яркость свечения. Для создания комфортных условий необходимо, чтобы контраст между яркостью светящейся плоскости информационного экрана и яркостью его фона был минимальным. Это достигается регулированием величины яркости экрана освещенности помещения и умелым использованием отражающих свойств материалов, образующих фон, на котором функционирует экран.

При решении основных эргономических задач важное значение имеют вопросы, связанные со способом управления отдельными блоками РЭС и всей системой в целом, с конструкцией органов и пультов управления и их расположением на передних панелях РЭС, а также с расположением отдельных функциональных блоков РЭС по отношению друг к другу, а также и к человеку-оператору.

Удобство управления системой зависит от того, насколько удачно выбрана принципиальная схема управления всей системой и ее отдельными функциональными блоками, расположения отдельных функциональных блоков и их органов управления.

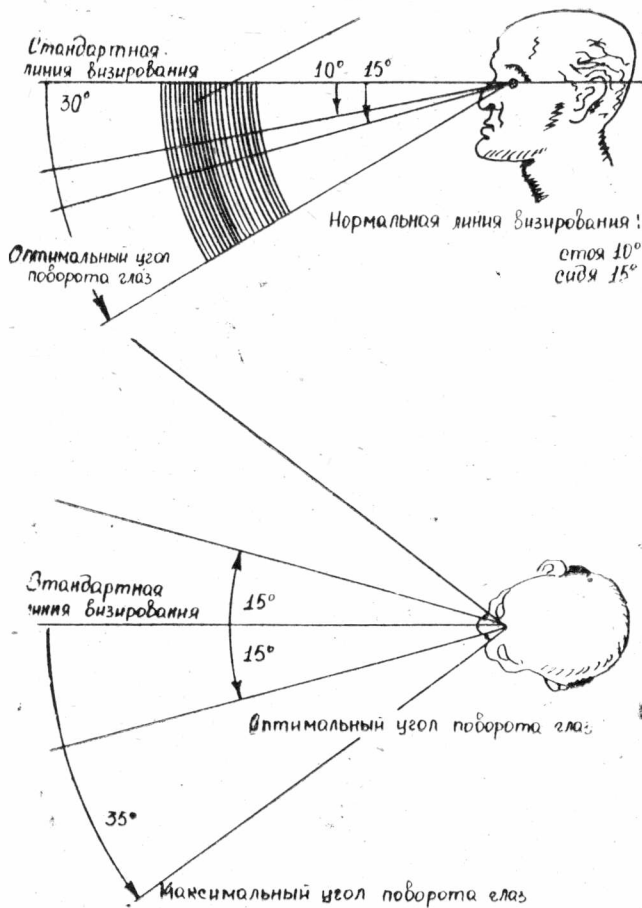


Рис. 21

Важное значение имеет процесс ведения операций управления, форма деталей органов управления, графика и расположение на панелях функциональных надписей и символов, цветосветовая индикация. Современный уровень радиоэлектронной техники позволяет осуществлять управление аппаратурой с помощью органов управления, расположенных на самом РЭС, с помощью выносных и дистанционных пультов управления, а также различных автоматических устройств.

Внедрение автоматики уменьшает количество органов управления, отпадает необходимость в их ручной настройке. Говоря об удобстве управления, надо помнить об устройствах автомати-

ческого включения и выключения РЭС. Символы буквенных или цифровых надписей на пульте управления аппарата изображаются в виде графики, нанесенной на материал с помощью различных технологических приемов (шелкографии, фотохимии, штамповки, гравировки и др.) и с использованием различных по принципу действия светящихся индикаторов.

Для того чтобы все перечисленные средства графической и световой индикации способствовали быстрому и точному восприятию их человеком, необходимо, чтобы они функционировали (или воспринимались) на спокойном, нейтральном фоне, т. е. чтобы ничто не отвлекало от них внимания человека, работающего с аппаратурой, а скорее, наоборот, способствовало их выявлению и комфортному восприятию. Однако на практике часто бывает иначе. Так например, на яркой лицевой панели РЭС с блестящими металлическими деталями, привлекающими внимание человека, функциональные надписи и шкалы стрелочных индикаторов воспринимаются во вторую очередь.

Ахроматичные же цветовые решения оболочек аппаратов и минимальный яркостный контраст между деталями панели способствуют выделению их основных функциональных элементов, окрашиваемых с этой целью в яркие сигнальные цвета (красный, синий, зеленый). Это относится к шкалам отсчета, цифровым индикаторам состояния РЭС, сигнализирующим о функционировании того или иного блока РЭС. На нейтральном по цвету фоне четко выявляются не только цветосветовые элементы РЭС, но и легко прочитываются функциональные надписи и символы. Кроме того, ахроматичное и единое по тональности решение наружной оболочки аппарата помогает восприятию пластики, скульптурной трактовки. В творческом процессе конструктора бывают и обратные случаи, когда форма аппарата диктует единое, выявляющее его пластику тоновое и ахроматичное цветовое решение. В поисках цветотоновых решений РЭС конструктор должен прийти к варианту, когда те помогли бы выявлению функциональных надписей и индикации, тем самым способствуя созданию комфортных условий работы с аппаратурой и одновременно соответствующего художественного образа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белобжеский Л. А. Инженерная психология в информационных системах летательных аппаратов: Учеб. пособие/Моск. авиац. ин-т. М., 1988. 55 с.
2. Бетоньян Д. А. Художественное конструирование бытовой радиоэлектронной аппаратуры. М.: Связь, 1980. 168 с.
3. Венда В. Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. М.: Радио и связь, 1982. 334 с.

4. Зинченко В. П., Мунин В. М. Основы эргономики. М.: Машиностроение, 1980. 343 с.

5. Кузьмин И. В. Проектирование автоматизированных телемеханических систем контроля и управления. Харьков, 1970. 96 с.

6. Основы инженерной психологии: Учеб. для техн. вузов /Под ред. Б. Я. Ломова. 2-е изд. доп и перераб. М.: Высш. шк. 1986. 448 с.

7. Рычина Т. А., Зеленский А. В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы: Учеб. для вузов. М.: Радио и связь, 1989. 352 с.

8. Романов С. С., Васьковский А. А. Визуальное восприятие цифровой информации /Моск. энерг. ин-т. М., 1983. 80 с.

9. Северцев Н. А. Надежность систем в эксплуатации и отработке: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1989. 432 с.

10. Сильвестров М. М. и др. Автоматизация управления летательными аппаратами с учетом человеческого фактора. М.: Машиностроение, 1986. 184 с.

11. Шеридан Т. Б., Ферелл У. Р. Системы человек—машина. М.: Машиностроение, 1980. 400 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Учет характеристик оператора при проектировании сложных РЭС	5
2. Взаимосвязь между РЭС и оператором	9
3. Характеристики зрения	19
4. Элементы индикации для отображения информации	28
5. Проектирование органов управления РЭС	37
Библиографический список	52

Зеленский Анатолий Васильевич

УЧЕТ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОПЕРАТОРА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ РЭС

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Свод. тем. пл. № 955

Сдано в набор 2.04.90 г. Подписано в печать 29.06.90 г.
ЕО 00148. Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл.п.л. 3,25. Усл.кр.-отт. 3,3. Уч.-изд.л. 3,15.
Тираж 500 экз. Заказ 345. Цена 10 коп.
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева.
443086 Куйбышев, ул. Московское шоссе, 34.

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института.
443001, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.