

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## **ЭРГОДИЗАЙНЕРСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ СРЕДСТВОМ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Технический дизайн»  
для студентов направления 11.03.03 «Конструирования и  
технология электронных средств»  
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных  
средств») всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 621.396.6.001.2

**Составители:**

доктор. техн. наук А. В. Башкиров,  
канд. техн. наук И.С. Бобылкин.

Эргодизайнерская модернизация панели управления электронным средством: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технический дизайн» для студентов направления 11.03.03 «Конструирования и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Башкиров, И.С. Бобылкин. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 44 с.

Методические указания предназначены для студентов, выполняющих лабораторные работы по изучению основ дизайна и эстетики по дисциплине «Технический дизайн» для студентов 4 курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле LR4TD.doc.

Табл. 12. Ил. 15. Библиогр.: 6 назв.

**УДК 621.396.6.001.2**  
**ББК 38.54**

**Рецензент** - О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.  
кафедры конструирования и производства  
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета*

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

**ЭРГОДИЗАЙНЕРСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАНЕЛИ  
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ СРЕДСТВОМ**

1.1. Целью работы: на основе конкретного задания (лицевой панели радиоизмерительного прибора устаревшей конструкции) провести эргономический анализ и составить эскизы художественно-конструкторской разработки варианта модернизированного прибора.

1.2. Домашнее задание. Ознакомьтесь с принципом современного художественного конструирования и компоновки лицевых панелей электронных измерительных приборов по [1] с. 216-252.

Ознакомьтесь с принципами композиционного решения (пропорциональные и тоновые соотношения, ритм, масштаб, контраст, нюанс и т.д.) по [2], с. 121-165.

Изучите основные расчетные соотношения по данному описанию. В качестве самостоятельной работы после выполнения работы оформите письменный отчет.

1.3. Необходимое оборудование: темплеты, микрокалькулятор, чертёжные приспособления, художественные принадлежности, бумага (калька, миллиметровка, ватман), карандаши, кисти.

1.4. Анализ характера работы оператора с лицевой панелью.

Лицевая панель является одним из важнейших объектов художественного конструирования и эргономической отработки, т.к. через неё происходит непосредственное взаимодействия человека со сложным оборудованием в системе человек-машина (СМЧ). Очень важно правильно оценить это взаимодействие, т.к. только в этом случае можно добиться резкого снижения непроизводительных затрат времени. Это взаимодействие можно проиллюстрировать схемой, изображенной на рис. 1.1.

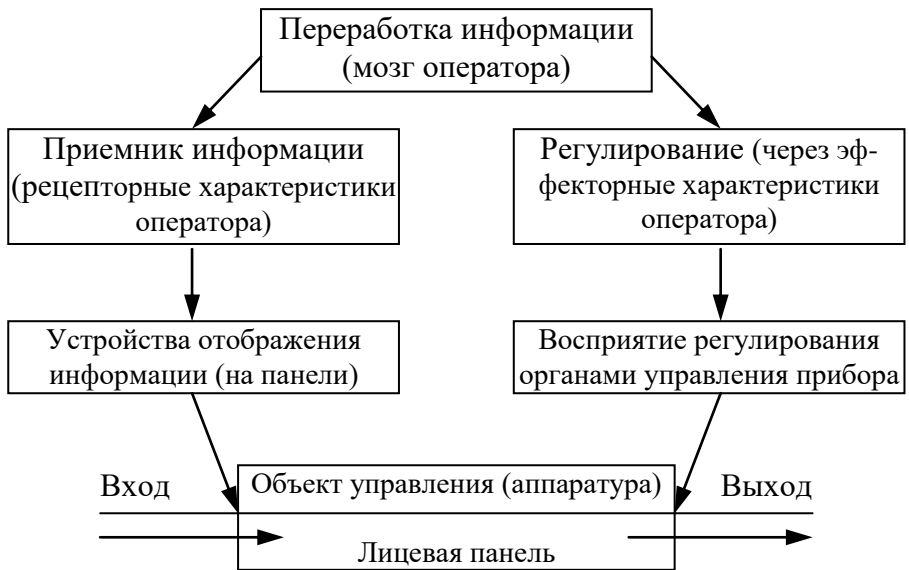


Рис. 1.1

Для описания структуры деятельности оператора в инженерной психологии применяется алгоритмический метод. В качестве элементарных составляющих алгоритма берутся оперативные единицы (считывание показаний, включение тумблеров, осуществление вычислений, перевод единиц шкалы в единицы измерений и т.д.). Для записи алгоритма применяются две основные формы: блочная схема алгоритма (БСА) и логическая (ЛСА).

Блочная схема составляется с требованиями [1]. Пример записи алгоритма в виде структурной схемы на рис. 1.2.

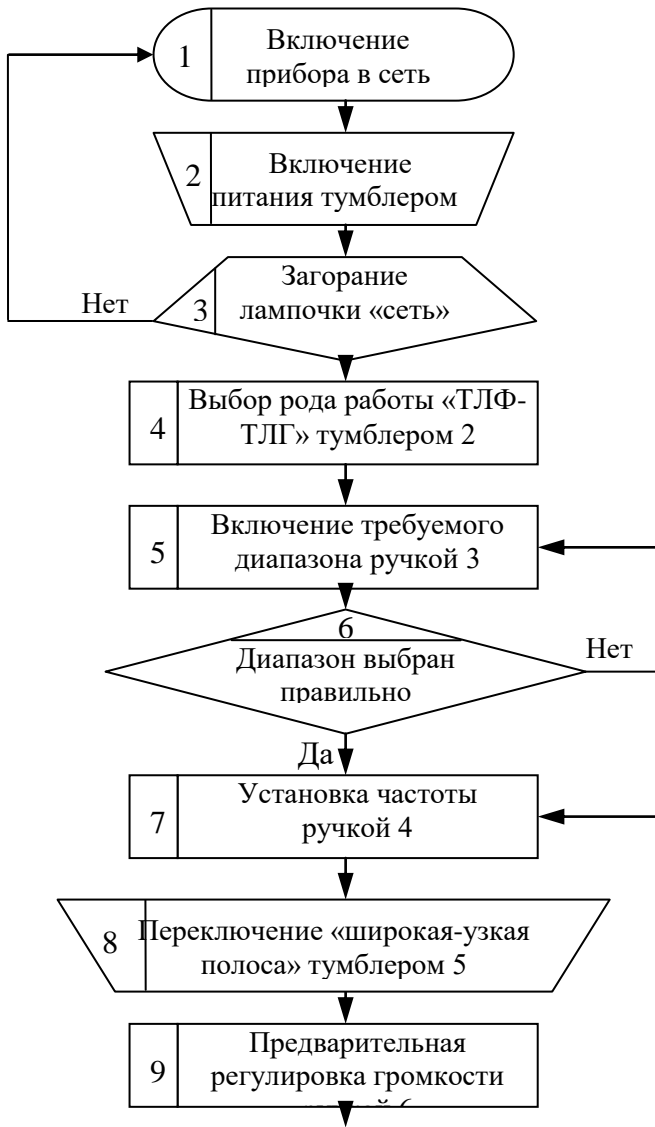


Рис.1.2. Структурная схема алгоритма последовательности выполнения операций при управлении профессиональным радиоприемником.

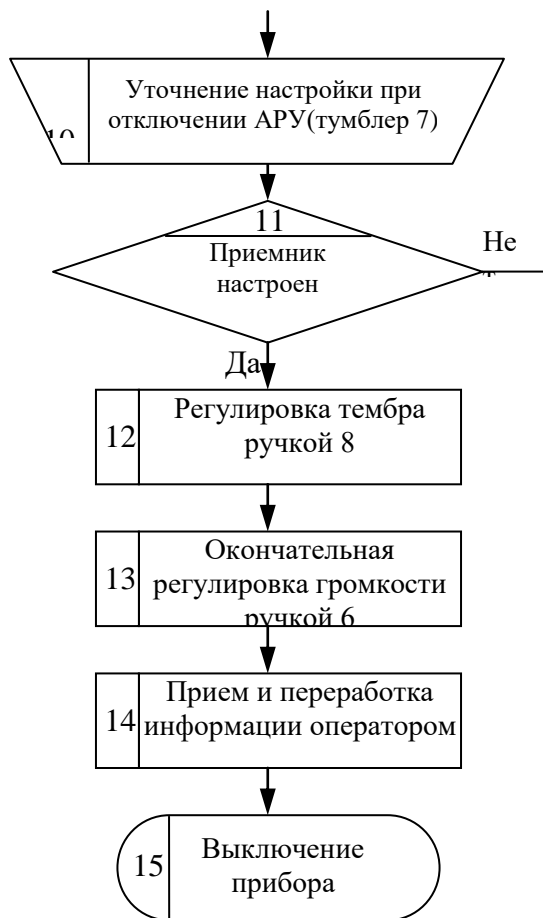


Рис. 1.2. Структурная схема алгоритма последовательности выполнения операций при управлении профессиональным радиоприемником (продолжение)

Как видно, БСА наглядно иллюстрирует работу оператора. С его помощью можно определить последовательность выполнения операций и построить схему связей при управлении. На рис. 1.3а и 1.3б построены схемы

связей для модернизированного (б) и устаревшего (а) приборов.

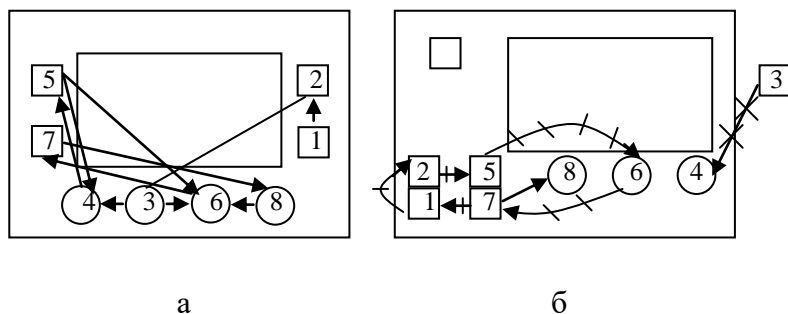


Рис. 1.3. Схема связей при управлении профессиональным радиоприемником (в соответствии с БСА): левая рука, правая рука

Анализ схемы связей показывает, что у устаревшей модели движения руки перекрывают шкалу и затрудняют считывание информации оператором. В модернизированной модели этот недостаток устранён более удачной компоновкой, новым конструктивным решением узла, связанного с ручкой 3 (переключатель диапазонов), разделением функции правой и левой руки. Более полный анализ деятельности оператора и его количественную оценку можно провести на основе анализа ЛСА. В качестве количественных характеристик выступает показатель стереотипности  $z$  и показатель логической сложности  $L$  (см. табл. П1 и П2).

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n_0} \frac{m_{0i}}{m_i}; \quad (1.1)$$

$$L = \frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^{n_j} \frac{m_{lj}^2}{m_j}. \quad (1.2)$$

где  $N$  – общее число алгоритма;

- $N_0$  – число элементарных операторов;
- $N_d$  – количество логических условий;
- $n_0$  – число групп элементарных операторов;
- $n_d$  – число групп логических условий;
- $m$  – число элементов в комплексной группе;
- $m_0$  – число элементарных операторов;
- $m_d$  – число логических условий в группе.

Однако оценке указанных количественных значений ЛСА, которые составляют  $0.25 \leq Z \leq 0.85$  и  $L \leq 0.20$ , предшествует сравнение количества логических условий  $N_d$  и число групп логических условий  $n_d$ . Все данные для сравниваемых алгоритмов заносятся в сводную таблицу. Вариант этой части сводной таблицы имеет вид:

Таблица 1.1

Условный номер алгоритма	Характеристики алгоритма						
	Общее число членов алгоритма	Кол-во алгоритмов в	Число групп операторов	Z	Кол-во логических условий	Число групп логических условий	L

Предпочтительным считается алгоритм с минимальным общим числом членов и наименьшими значениями: количества логических условий, числа групп логических условий и показатели логических условий. С точки зрения упрощения работы оператора, устранения вероятностных ситуаций и снижения степени риска следует стремиться к увеличению стереотипности трудовой деятельности и максимальному значению Z, однако не выше 0.85. Пример составления алгоритма и вычисления его характеристик приведён в приложении.

Ещё одной важной характеристикой, позволяющей отдать предпочтение тому или иному варианту компоновочного решения лицевой панели, может быть общее время, затрачиваемое оператором на получение информации от



ряда приборов и на выполнения ответных действий. Расчёт его без учёта времени спонтанной отвлекаемости может быть проведён по формуле (1.3).

$$T = \sum_{i=1}^k \Delta t_i p_i + \sum_{i=1}^k \Delta \tau_i p_i + \sum_{j=1}^m t_{mj} p_i + \sum_{j=1}^m t_{nj} p_i, \quad (1.3)$$

где  $k$  – количество приборов (стрелок, знаков);

$\Delta t_i$  – время, необходимое для считывания показания  $i$  – го прибора;

$\Delta \tau_i$  – время перевода глаз с одного прибора на другой (полный цикл заканчивается в исходной точке);

$t_{mj}$  – время выполнения моторных действий по управлению  $j$ -м регулятором РЭА;

$n$  – число перемещений за время одной стадии регулирования;

$m$  – количество регуляторов РЭА;

$t_{nj}$  – время выполнения моторных действий;

$j$  – число органов управления.

Продолжительность времени для различных операций приведена в табл. ПЗ и П4 приложения. При расчёте необходимо вводить коррекцию на время безошибочного чтения показаний приборов, расположенных в разных областях лицевой панели в соответствии с графиком рис. П2, а также учитывать зависимость времени поворота глаза от угла поворота в соответствии с графиком рис. П1. Необходимые значения величины времени переноса руки оператора от одного органа управления к другому ( $t_n$ ), в зависимости от амплитуды движения и характера работы зрительного аппарата, можно получить из графика рис. ПЗ. На этом этапе проектирования, в ходе поиска наиболее оптимального варианта решения, необходимо учитывать современные конструктивные решения органов и устройств переключения (напр., сенсорные устройства, сервомеханизмы и т.д.),

устройств отображения информации с минимальным временем переработки сигнала и т.п.

При поиске оптимального компоновочного варианта необходимо пользоваться темплатами – уменьшенными контурными изображениями предметов (шкал, органов, ручек управления и клемм) вырезанными из бумаги или пластика. Их следует размещать на макете лицевой панели и перемещая по её плоскости, вести динамический поиск оптимальной компоновочной схемы.

#### 1.4.2. Анализ комплектующих изделий.

Элементы лицевых панелей подразделяют на четыре основные группы:

- 1 – устройство отображения информации;
- 2 – устройства управления;
- 3 – устройства внешней коммутации;
- 4 – конструктивные элементы.

Ввиду перегруженности лицевой панели информативным материалом размещения на ней элементов 3 и 4 групп с эргономической точки зрения является нежелательным. Идеальным решением является такое, когда эти элементы на лицевой панели отсутствуют.

Устройства первой группы подразделяются на приборы количественной индикации (ПКИ) и приборы качественной поверочной индикации (ПКПИ).

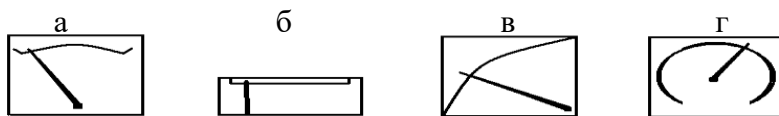


Рис. 1.4. Классификация устройств стрелочной индикации по форме шкалы: а – панорамные; б – профильные; в - квадратные; г - круглошкальные

При снятии показаний с ПКИ оператор должен получить точное числовое значение. Эти приборы подразделяются на стрелочные и цифровые. Несмотря на то, что показания цифровых приборов оцениваются оператором значительно точнее, чем у стрелочных, тем не менее последние всё ещё достаточно широко применяются на практике. По форме шкалы они подразделяются на 4 типа.

Художественно-конструкторское и эргономическое достоинство комплектующего прибора индикации оценивается показателем оптимальности решения корпуса  $\Pi_3$ :

$$\dot{K} = S_m / S_n \cdot k, \quad (1.4)$$

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}, \quad (1.5)$$

где  $S_m$  – площадь видимой поверхности шкалы прибора;

$S_n$  – площадь лицевой поверхности прибора;

$\rho_1$  - коэффициент отражения светлого тона циферблата;

$\rho_2$  - коэффициент отражения темного тона шкалы.

Величина контраста  $K$  учитывает психофизиологическое воздействие цвета на оператора. Необходимые справочные данные для расчёта  $\rho_1$  и  $\rho_2$  приведены в табл. ПЗ приложения. Оптимальным является значение  $\Pi_3$ , равное 1.

Приборы качественной и поверхностной индикации (ПКПИ) обеспечивают оператору возможность выбора одного из альтернативных исходов – «да» или «нет». По этим элементам оператор должен качественно оценивать состояние системы за короткое время. К таким приборам относятся сигнальные лампы, табло, системы цветного и знакового кодирования. Показателем эргономичности для индикаторов служит

$$\Pi_3 = S_{\text{окна}} / S_{\text{обр}}, \quad (1.6)$$

где  $S_{\text{окна}}$  - площадь поверхности окна индикатора;

$S_{\text{обр}}$  - площадь поверхности обрамления.

$$S_{\text{обр}} = S_{\text{лиц.}} - S_{\text{окна}} . \quad (1.7)$$

Для достижения лучшего показателя  $\Pi_3$  необходимо стремиться к его наибольшему значению.

Система знакового кодирования взамен пояснительных надписей позволяет резко сократить время считывания информации оператором. Сравнительную характеристику можно получить из табл. 1.2, где приведены времена продолжительности латентного периода (задержки сигнала оператором). Время этого «бездействия» заключено между окончанием получения информации и началом ответа действием.

Таблица 1.2

Скорость и полнота реакции оператора в ответ на специфический раздражитель

Вид изображения	условного	Латентный период, С	Величина реакции, %
Предмет в натуре		0,4	100
Цветной рисунок		0,9	76,5
Контурный рисунок-символ	рисунок-	1,5	27,5
Надпись		2,8	16,3

Анализ показывает, что скорость и полнота реакции оператора при восприятии надписи в 2 раза ниже, чем при восприятии символа.

Элементы второй группы – устройства управления – должны обеспечить надёжность, удобство, максимально достижимую быстроту управления с оборудованием. Форма органов управления должна быть тщательно выполненной, красивой, гармоничной и технологичной; материал органов должен быть приятным на ощупь и гигиеничным. Примеры

легко различимы на ощупь форм ручек управления приведены на рис.1.5.

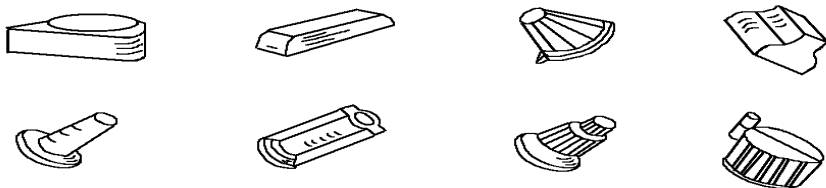


Рис. 1.5. Образцы формы органов дискретной и плавной регулировок

К третьей групп – устройствам внешней коммутации – относятся разъёмы, клеммы, зажимы и т.п. Основное требование к ним – обеспечение высокой надёжности. В соответствии с последними рекомендациями инженерной психологии не рекомендуется размещать их на лицевой панели прибора.

Четвёртая группа – конструктивные и технологические элементы. К ним относятся головки винтов крепления, приборные ручки, замки и т.д. Эти элементы нежелательны на лицевой панели, так как они несут значительное количество ненужной информации. Некоторые варианты ручек приведены на рис. 1.6.

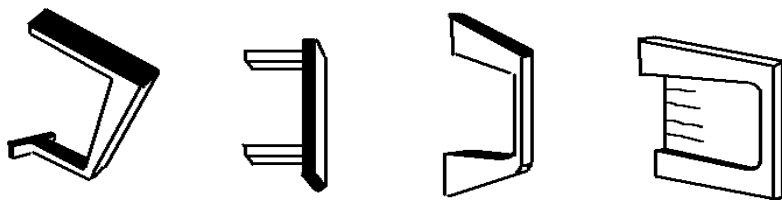


Рис. 1.6. Варианты формы стационарных ручек

### 1.4.3. Композиционная художественно-конструкторская отработка лицевой панели

Одним из важнейших средств композиции является пропорции и приём пропорционирования. Пропорции – это соразмерность элементов, придающая предмету гармоническую завершенность.

Композиция выгодно дополняет функциональные и технологические требования к лицевым панелям в приёме, который носит наименование «структурирование лицевой панели». Последнее представляет собой эстетически законченное и целостное размещение элементов на панели по структурным зонам, определённым функциональной последовательностью восприятия информации оператором. Структурные зоны размещаются по законам гармонии (гармонического пропорционирования).

Одним из распространённых рядов пропорциональных чисел является ряд Хэмбиджа, составленный из корней натуральных чисел:  $\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{3}$ ,  $\sqrt{4}$ ,  $\sqrt{5}$ ... Пример графического пропорционирования в соответствии с этим рядом приведён на рис. 1.7, 1.8.

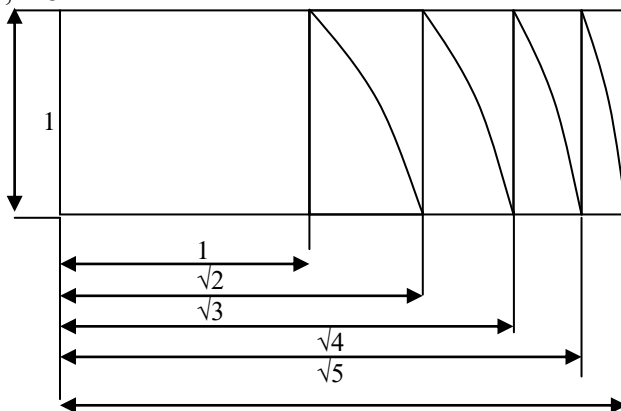


Рис. 1.7. Графическая иллюстрация схемы пропорционирования Хэмбиджа

На рис. 1.8 приведён пример гармонизации лицевой панели с использованием этих графических построений.

Другие виды графического построения пропорциональных соотношений приведены в приложении рис. П4 и П5, табл. П6.

Другим элементом гармонизации, средством композиции, является масштаб и масштабность. Масштабность изделия тесно связана с его размерами: так, размеры рукояток управления и приборных ручек лицевой панели должно быть согласованы с размером руки человека.

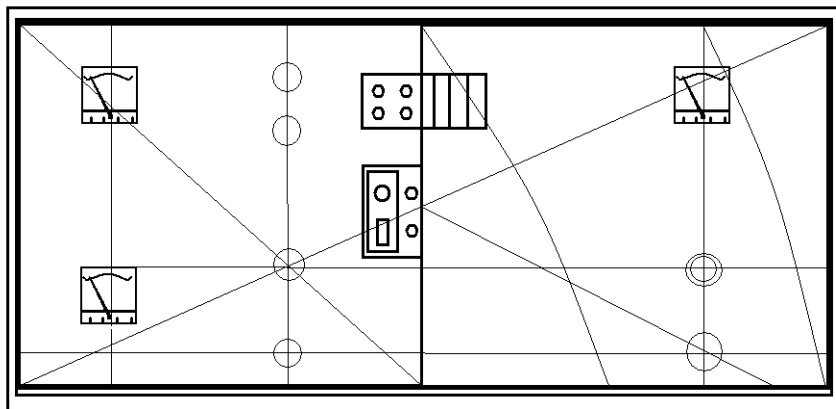


Рис. 1.8. Система пропорций лицевой панели прибора с использованием пропорциональных соотношений Хэмбиджа

Точно так же должны быть согласованы линейные размеры панели прибора.

При распределении элементов на лицевой панели необходимо использовать и такие средства композиции, как метрический повтор, ритм, нюанс, контраст. Особое место среди средств гармонизации композиции занимает цвет и цветотонное решение.

При выборе цветового решения РЭА обычно используют 2-3 цвета или цветовых оттенка, причём преимущественное применение получили монохромные (одноцветные) решения. Лицевые панели решаются в светлых нейтральных тонах: светло-серых, голубовато-серых, беловато-серых и т.д. Эти цвета создают впечатления лёгкости. Используется также естественный цвет металла, а подразделение панели на структурные зоны осуществляется за счёт образования участков поверхности с разной фактурой (полированный металл, травленный металл, поверхность после механической обработки). Поскольку перечисленные цвета являются «лёгкими», необходимого зрительного утяжеления конструкции можно добиться путём окраски нижней части панели более тёмным цветом того же оттенка (тёмно-синий, тёмно-серый, маренго, асфальт и т.д.). Выбирая светлый тон панели, не следует забывать, что значительный удельный вес в номенклатуре выпускаемых органов управления (ручек, кнопок) и корпусов стрелочных приборов занимает чёрный карболит. Установка их в значительной массе недопустима, т.к. обуславливая значительный световой контраст, они создают неблагоприятные условия повышенной утомляемости оператора. Поэтому избрав тот или иной вариант цветотонного решения, необходимо оценить коэффициент отражения по формуле 1.5, используя справочные данные табл. П7 приложения. Оптимальным считается величина  $K$ , равная  $0,60+0,95$  отн. ед.

В заключение следует отметить, что данный способ поиска и оценки оптимальности решения лицевой панели не является полным, т.к. он не оценивает показатели надёжности оператора в СЧМ, а также не определяет экономическую эффективность инженерно-психологических разработок. При необходимости с этим вопросами можно ознакомиться по [3].

1.5. Лабораторное задание и методические указания к его выполнению.



Прежде чем выбрать задание на выполнение лабораторной работы необходимо получить у преподавателя допуск к работе, отчитавшись по вопросам домашнего задания. Последующую работу рекомендуется организовать по следующему плану.

1. Получить у преподавателя задание – образец (натурный или графический) лицевой панели прибора, подлежащего модернизации.

2. Анализируя функциональное назначение прибора, произвести мысленную конструктивную доработку некоторых устройств отображения информации и устройств (механизмов) управления. По возможности сократить число операций переключения и общее время моторных действий переключения. В последнем случае использовать соответствующие органы управления и возможно меньшие амплитуды перемещения рук оператора. Разделить функции правой и левой руки, используя общие рекомендации приложения и раздела 1.4.1.

3. Используя темплеты, составить 2 оптимальных компоновочных варианта лицевой панели. Провести их эскизную зарисовку.

4. Построить на 2-х эскизах схемы связей при управлении.

5. В соответствии с инструкцией по эксплуатации составить алгоритм действий оператора.

5.1. Начертить БСА.

5.2. Составить таблицу ЛСА.

6. На основе ЛСА рассчитать характеристики 2-х предлагаемых компоновочных вариантов по формулам 1.1 и 1.2. и в соответствии с рекомендациями раздела 1.4.1.

7. Определить общее время затрат оператора на обработку лицевой панели при выполнении поставленной задачи по формуле 1.3.

8. Провести выбор компоновочных элементов панелей в соответствии с формулами 1.4,1.6 и общими рекомендациями раздела 1.4.2.

9. Сделать сравнительный анализ, выбрать из 2-х вариантов один оптимальный.

10. Провести уточнение композиционного строя лицевой панели в соответствии с рекомендацией разд.1.4.3, нарисовать эскиз оптимального варианта с применением вспомогательных линий построений.

11. Найти цвето-тоновое решение в соответствии с рекомендацией раздела 1.4.

12. Представить черновики преподавателю для проверки.

1.6. Отчёт и его содержание.

Отчёт выполняется в одном экземпляре бригадой из 2-х человек. Он снабжается титульным листом, оформленным в соответствии с общими требованиями.

Содержание отчёта включает:

1. Пояснительную текстовую часть с изложением задачи, анализом исходных данных, перечнем узлов, подлежащих сокращению, перечнем органов управления для обработки левой и правой рукой. В текстовой части помещается таблица ЛСА, список компоновочных элементов.

2. Схему БСА на отдельном листе.

3. Сводную таблицу исходных и расчётных данных для 2-х компоновочных вариантов. В таблицу занести значения  $Z$ ,  $L$ ,  $\sum \Delta t_i$ ,  $\sum \Delta t_i$ ,  $\sum t_{mi}$ ,  $\sum t_{nj}$ ,  $k$ ,  $m$ ,  $r$ ,  $T$ ,  $P_{\Sigma}$ ,  $P_{\Sigma}'$ ,  $K$  (на отдельном листе).

4. Эскизы компоновочных схем 2-х вариантов с обозначением линий связей и с пояснительными надписями технических требований и технических характеристик. Исполнении на отдельном листе формата не менее А4, надписи в соответствии с ГОСТ 2.316-68. В качестве обязательных характеристик поместить коэффициенты  $Z$ ,  $L$ ,  $\Delta t_i$ ,  $\Delta t_i$ ,  $\Delta t_{mj}$ ,  $\Delta t_{nj}$

с полной расшифровкой наименования и численного значения (для оптимального варианта).

5. Эскиз композиционного уточнения лицевой панели со вспомогательными линиями построений и пояснительными надписями по позициям  $k$ ,  $m$ ,  $T$ ,  $P_3$ ,  $P_3'$ . Выполняется на отдельном листе, требования к оформлению аналогичны п.4.

6. Эскиз цветотонного решения панели с пояснительными надписями по позициям  $K$ , просчитанным для:

1. Устройства отображения информации (корпус-шкала).
2. Органа управления–панели, выполняется на отдельном листе.
3. Требования к оформлению аналогичны п.4.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА

2.1. Цель работы: составить эскизные варианты эргономической разработки рабочего места оператора в соответствии с заданием. Провести расчёт характеристических параметров разработки и на основе сравнения данных выбрать оптимальный вариант.

2.2. Необходимое оборудование: модель оператора (М1:10), темплеты, микрокалькулятор, чертёжные приспособления, художественные принадлежности, бумага (миллиметровка, калька, ватман), карандаши, кисти.

2.3. Домашнее задание.

Ознакомиться с общими принципами организации рабочего места по [3] с. 183-195.

Определить роль рабочего места оператора в системе «человек-машина» и его значение для обеспечения высокой надёжности СЧМ по [3] с.210-215.

Ознакомьтесь с условиями жизнедеятельности человека-оператора на рабочем месте по [5] с. 59-63.

Ознакомьтесь с методическими указаниями по выполнению данной работы по настоящему руководству. Составьте вариант комплексной таблицы данных.

В качестве самостоятельной работы после выполнения задания необходимо произвести оформление отчёта в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

## 2.4. Исходные положения для конструирования рабочего места оператора

Под рабочим местом оператора понимается зона его трудовой деятельности в СЧМ, оснащённая техническими средствами и вспомогательным оборудованием, необходимым для осуществления функций контроля и управления производственным процессом.

Исследование и проектирование СЧМ следует рассматривать как задачу оптимизации.

Рабочее место является наименьшей производственной единицей. Его характерными элементами являются труд человека, материалы труда и орудия труда. Проектирование рабочего места охватывает разработку приёмов труда, определение положения работника и опробование приёмов труда на рабочем месте. В качестве критериев оптимизации рабочего места выступает ряд принципов оптимального построения СЧМ:

1. Рассмотрение человека-оператора как главного, основного элемента системы.

2. При взаимодействии оператора с машиной (под машинной в дальнейшем будем понимать объект операторного воздействия с целью создания предметов труда) следует стремиться к наиболее полному использованию потенциальных возможностей оператора как звена системы. Недоиспользование говорит о неоптимальном построении системы.

3. Следует обеспечить простоту и естественность взаимосвязи оператора с машиной путём рационального выбора устройств отображения и управления.

Второй и третий принцип могут быть решены на основе эргономического подхода. Приступая к эргономической отработке на первом этапе, необходимо провести классификацию оборудования и рабочей позы оператора.

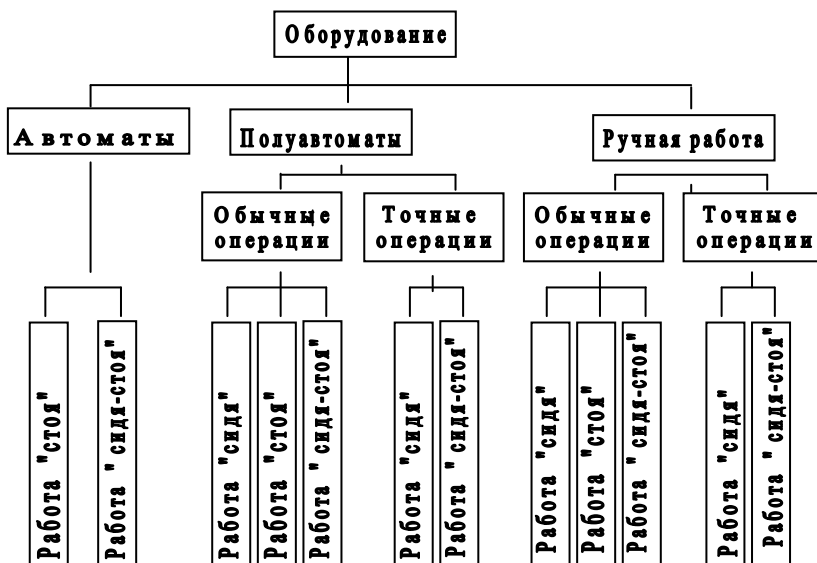


Рис. 2.1

На следующем этапе необходимо рационально организовать рабочее место, т.е. организовать наиболее полное использование рабочего времени при одновременном достижении максимальной производительности с наименьшими затратами физического и умственного труда. При этом следует учитывать данные физиологии труда, согласно которым около 25% рабочего времени должно быть представлено человеку на отдых. Таким образом, полное время складывается из физиологических пауз, которые чередуются с периодами занятости, продолжительность которых составляет  $\approx 15$  мин.

При организации рабочего места должны быть сообщены определённые условия, например:

- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять свободно, без ощущения опасности все необходимые движения и перемещение на рабочем месте;

- достаточные информационные связи между оборудованием и оператором;
- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;
- наличие необходимых инструкций и предупредительных знаков;
- надёжная индикация отказов аппаратуры;
- оптимальные условия окружающей среды [4];

2.4.2. Компоновка рабочего места при учёте антропометрических данных.

При определении рабочего пространства оператора необходимо учитывать его антропометрические данные. Основные данные приведены в табл.2.1.

Решение задачи организации рабочей зоны оператора должно производиться совместно с проектированием интерьера всего рабочего места. Внутреннее пространство делится обычно на 3 зоны - рабочую, вспомогательную и зону отдыха.

Главной функциональной зоной является рабочая. В этой зоне – вся аппаратура, щиты и устройства управления, приборы, пульты и т.п.

В блоки оперативной информации и управления.

Вспомогательная зона включает блоки неоперативной информации и управления, пространство обслуживания блоков оперативной информации и управления и т.п.

Зона отдыха предназначена для психологической переадаптации оператора в процессе кратковременного отдыха. Она должна располагаться так, чтобы из неё можно было наблюдать за состоянием блоков оперативной информации. Показателем оптимального использования площади помещения является

$$K_{оп} = \sum_{i=1}^n S_{приб} / \sum_{i=1}^k S_{полазон}, \quad (2.1)$$

где  $S_{приб}$  - площадь основания блока оперативной или неоперативной информации;

$S_{полазон}$  - площадь пола рабочего места;

$n$  – число блоков информации;

$k$  – число зон на рабочем месте.

Таблица 2.1

Антропометрические характеристики взрослого населения и некоторые характеристики пультов

Наименование характеристики	Обозначение	Величина характеристики	
		Мужчины	Женщины
Ширина плеча	d	410	370
Длина вытянутых в стороны рук	D <sub>1</sub>	1800	1700
Высота глаз в положении сидя	H <sub>2</sub>	1310	1210
Длина голени (высота от пола до сидения)	H <sub>1</sub>	450	400
Длина вытянутой вперед руки	R <sub>1</sub>	580	520
Высота глаз в положении стоя	H <sub>5</sub>	1570	1460
Высота от пола до вытянутой вверх руки	H <sub>4</sub>	2050	1900
Удаление границы максимальной зоны при работе сидя	L	700	640
Ширина допустимой рабочей зоны при работе сидя	D	150	140
Высота от пола до столешницы пульта для работы сидя	H	700-800	650-750
Высота пульта для работы сидя	H <sub>3</sub>	1650	1400
Высота нижней границы рабочей зоны пульта для работы стоя	H <sub>1</sub>	600	570
Оптимальное расстояние от оператора до пульта при работе стоя	L <sub>1</sub>	800	750
	L	400	360
Ширина столешницы пульта для работы сидя	R	600	540
Радиус максимальной рабочей			



зоны при работе у пульта в положении стоя Радиус с оптимальной зоны в том же положении	r	300	280
---	---	-----	-----

Таблица 2.2

Размер площади рабочей зоны в зависимости от условий работы оператора

Рабочая поза	Величина рабочего усилия, Н	Подвижность во время работы	Величина рабочей зоны (в виде круга радиуса, мм)
Сидя	До 50	Ограничена	380-500
Сидя-стоя	50-100	Средняя	380-500
Стоя	100-200	Большая	750 и более

Эффективность действий оператора повышается при такой организации его моторного поля, которая обеспечивает оптимальные условия регуляции движений. В зонах оптимальной и допустимой досягаемости возможны наиболее быстрые и точные движения при минимальной утомляемости оператора. Поэтому здесь рекомендуется располагать наиболее важные и часто используемые органы управления. Однако в зависимости от точности движений и требуемых усилий в этих зонах существуют рациональные уровни. Так, например, рычаги с большим начальным моментом следует размещать на нижних уровнях оптимальной зоны. В зоне максимальной досягаемости скорость и точность управляющих движений заметно снижается, утомление наступает быстрее. На рисунке приведены зоны досягаемости для операторов мужчин и женщин. Для последних численные значения даны в скобках; размеры указаны в миллиметрах.

Для количественной оценки удобства работы человека в той или иной зоне вводится понятие коэффициента удобства  $K_u$ .

$$K_y = T_y / T_{зон}, \quad (2.2)$$

где  $T_y$  – полное время выполнения операции в наиболее удобной зоне;

$T_{зон}$  – полное время выполнения операции в данной рабочей зоне.

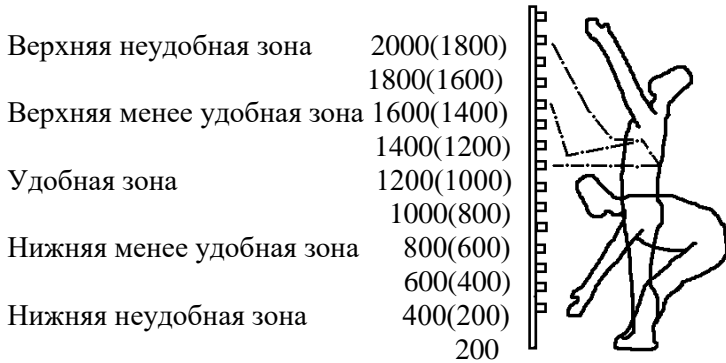


Рис. 2.2. Зоны досягаемости рук в вертикальной плоскости для операторов мужчин (женщин)

Полное время выполнения операции управления оператором складывается из суммы времени полной оценки показаний, времени перевода глаз с прибора на прибор и с одного органа управления на другой, времени выполнения моторных действий по управлению и времени моторных действий по перемещению рук и туловища оператора. Таким образом, полное время выполнения операции управления можно определить по формуле (1.3) лабораторной работы 4.

Удобство работы оператора достигается также правильной организацией моторного поля, выбором рабочих траекторий движения. Конкретные рекомендации по этому вопросу приведены в [4]. Другой важной характеристикой является коэффициент загрузки оператора  $\eta$  и другие характеристики нормы деятельности.

$$\eta = 1 - P_0, \quad (2.3)$$

Вероятность незанятости оператора  $P_0$  может быть найдено из выражения

$$P_0 = 1 - \rho, \quad (2.4)$$

где  $\rho$  - есть приведенная плотность входящего потока информации.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (2.5)$$

Здесь  $\lambda$  - суммарная плотность входящего потока. Она равна

$$\lambda = \lambda_1 \cdot n, \quad (2.6)$$

где  $\lambda_1$  - плотность потока сообщений от одного источника сообщений, сообщений в час;

$n$  - число источников сообщений.

Интенсивность обслуживания  $\mu$  есть величина, обратная полному времени выполнения операции управления оператором, которая определяется по (1.3) из лабораторной работы 4.

$$\mu = r / T \quad (2.7)$$

Математическое ожидание периода занятости находится по формуле

$$T_{зан} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.8)$$

Коэффициент очереди  $\beta$  представляет собой вероятность того, что на обработке одновременно находится менее 1 сообщения

$$\beta = 1 - P_0 - P_1, \quad (2.9)$$

где  $P_1 = P_0 \cdot \rho$  и  $P_k = \rho^k (1 - \rho)$

Используя значение  $P_0$  из (2.4), имеем

$$\rho = 1 - (1 - \rho) - (1 - \rho)\rho = \rho^2. \quad (2.10)$$

Среднее значение длины очереди находится по общим правилам нахождения математического ожидания дискретной случайной величины. С учётом (2.9) имеем:

$$\bar{K} = \sum_{k=0}^{\infty} K P_k = \sum_{k=0}^{\infty} K \rho^k (1 - \rho) = \frac{\rho}{1 - \rho}. \quad (2.11)$$

Среднее значение времени ожидания находится по общим правилам нахождения математического ожидания непрерывной случайной величины

$$\tau_{ож} = \int_0^{\infty} \tau e^{-(\mu - \lambda)\tau} d\tau \cong \frac{\rho}{\mu - \lambda}. \quad (2.12)$$

Допустимое время ожидания равно

$$\tau_{ож.доп.} = \tau_{стар} - T, \quad (2.13)$$

где  $T$  определено в формуле (1.3).

Предельно допустимые нормы деятельности определяются следующими значениями:

$$\eta = 0,75; \quad \beta_{\ddot{a}\ddot{i}} = 0,4;$$

$$\tau_{\grave{c}\grave{a}\grave{i}} = 15 \grave{i}\grave{e}\grave{i}; \quad \hat{E}_{\grave{a}\grave{i}\grave{i}} = 3.$$

Используя приведённую методику, можно определить верхнюю (предельную) границу нормальных условий деятельности оператора.

Приведённых характеристик достаточно для выбора оптимального строя рабочего места оператора и его компоновки. Полная оценка степени совершенства рабочего места дополнительно включает определение: 1) надёжности оператора и СЧМ и 2) экономического эффекта от внедрения инженерно-психологических разработок на производстве. Первая из упомянутых характеристик может быть определена

по методике, изложенной в [3] с. 211-219, вторая – по методике на с. 322-326.

#### 2.4.3. Цвето-тоновое решение рабочего места.

При создании цвето-световой среды в интерьере необходимо учитывать эмоционально-физиологическое воздействие цвета и света. При выборе варианта оформления рабочего места следует пользоваться рекомендациями и цветотоновыми решениями согласно примерам [2] с. 173-175 и [5] с. 212. Анализ показывает, что в этом случае композицию объединяет мягкий, спокойный, нюансногармонизированный колорит потолка, стен и панелей с невысоким коэффициентом. Контраст используется для выделения функциональных групп приборов информации и управления. Рекомендуются, чтобы потолок отражал 80-90%, стены 50-60%, панели 15-20%, а пол 15-30% падающего на них света. Отражающая способность поверхности I может быть определена

$$I = k100\%, \quad (2.14)$$

где  $k$  – коэффициент отражения поверхности.

Поскольку цвето-тоновое и яркостное решение является важным элементом конструирования рабочего места, необходимо провести инженерно-психологическую оценку. Эту работу рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Определить фактическую яркость фона (стены) в соответствии с её цветовым тоном по формуле:

$$B_{\phi} = \frac{E_{\kappa}}{\pi} \text{ кд/м}^2, \quad (2.15)$$

где  $E_{\kappa} = E * k$ ,  $E$  – освещенность поверхности стены,  
 $k$  – коэффициент отражения.

2. По формуле 1.5 (из лабораторной работы №4) вычислить коэффициент контраста пульта  $k_{\Pi}$  по отношению к стене. Коэффициент отражения пульта  $\rho_{\Pi}$  определить для преобладающего цветового тона по табл. П5 и П7.

3. Угловые размеры оптимальной зоны обзора определить на эскизе рабочего места как плоский угол, вершина которого находится в точке зрения наблюдателя, а стороны касаются сторон пульта (боковых или верхних) по преобладающему размеру. При определении угловых размеров необходимо учитывать возможности зрительного аппарата в соответствии с рис. П2.

4. Рассчитать число порогового контраста  $Q$ , используя значения  $K_{п}$  пульта и  $K_{ст}$  стены, найденные ранее:

$$Q = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{K_{\min}}. \quad (2.16)$$

Сравнить полученную величину с  $K_{пор}$ .

Рабочее место считается прошедшим инженерно-психологическую оценку, если  $V_a > 10 \text{ кд/м}^2; 0,65 < k < 0,95; Q > 10$ , в ином случае требуется уточнить его цвето-тоновое решение.

2.5. Методические указания к выполнению лабораторной работы.

Перед началом работы необходимо отчитаться преподавателю о выполнении домашнего задания.

В ходе выполнения рекомендуется строить работу по следующему плану.

1. Проанализировать исходные данные, классифицировать рабочее место, определить состав необходимого оборудования, продумать варианты оптимального решения оборудования, определить условия окружающей среды на рабочем месте в соответствии с П. 2.4.1. Данные занести в сводную таблицу.

2. Выписать необходимые антропометрические данные операторов и характеристические данные оборудования в соответствии с рекомендациями 2.4.2. Определить величину рабочего пространства и эти данные занести в таблицу.

3. Используя темплеты и макет, обработать варианты компоновки рабочего места (вид спереди и вид сбоку), составить эскизы 2 наиболее удачных вариантов, продумать алгоритм работы оператора, пометить схемы связей на эскизах в соответствии с рекомендацией пп.2.4.2 данной работы и 1.4.1 работы №4.

4. Пользуясь методикой, изложенной в п. 1.4.1 и используя формулу 1.3, рассчитать T для общих вариантов компоновки. Данные оптимального варианта занести в сводную таблицу. Рекомендуется следующей вид этой части сводной таблицы.

Таблица 2.3

Последовательность и наименование операций	Наименование зоны, в которой выполняется операция	Время выполнения операции, с	Длительность цикла регулирования, с									
			0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6		
1	Оптимальная	0,1										
2	Максимальная	0,3										
3	допустимая	0,85										

5. Пользуясь методикой, изложенной в 1.4.1 лабораторной работы №4, составить БСА для оптимального варианта рабочего места.

6. Рассчитать оптимизационные характеристики рабочего места по формулам раздела 2.4.3. Числовые данные коэффициентов  $K_y$ ,  $\rho=\eta$ ;  $\beta$ ;  $t_{сж}$ ;  $t_{зан}$ ;  $k$ ;  $t_{сж.доп.}$  занести в сводную таблицу.

7. Определить цвето-тоновое решение рабочего места и провести инженерно-психологическую оценку в соответствии с П. 2.4.4. Данные по цветам окраски стен, потолка, коэффициенты  $\beta_f$ ,  $k_n$ ,  $\rho_n$ ,  $k_{пор}$ ,  $\alpha$ ,  $Q$  занести в сводную таблицу.

8. Представить черновики и эскизы в конце занятия преподавателю.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ И ЕГО СОДЕРЖАНИЮ**

Отчёт выполняется в одном экземпляре бригадой из двух человек. Он снабжается титульным листом, оформлением в соответствии с общими требованиями.

В содержание отчёта входят:

1. Пояснительная текстовая часть с изложением задания, анализом исходных данных, перечнем необходимого оборудования на рабочем месте оператора, условиями жизнедеятельности оператора, антропометрическими данными оператора и характеристическими данными оборудования рабочего места.

2. Сводная таблица данных на отдельном листе.

3. Схема БСА на отдельном листе.

4. Эскизы двух вариантов компоновки с обозначением рабочих связей (на листе формата не менее А3).

5. Компоновочный чертёж общего вида рабочего места в двух проекциях с пояснительными надписями, выполненными на поле чертёжа и сгруппированными в технические требования и технические характеристики, а также указанием к цветовому оформлению элементов рабочего места и рабочих зон. В качестве обязательных характеристик (с полной расшифровкой наименования) необходимо поместить  $T_{\text{опт.}}$ ,  $k_y$ ,  $\beta$ ,  $\rho$ ,  $t_{\text{ож.}}$ ,  $t_{\text{зан.}}$ ,  $k$ ,  $t_{\text{ож.доп.}}$ ,  $\beta_{\text{Ф}}$ ,  $k_n$ ,  $\rho_n$ ,  $k_{\text{пор}}$ ,  $\alpha$ ,  $Q$ .

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4**

1. Дайте определение эргономики.
2. Определите понятия человек-машина-среда.
3. Охарактеризуйте алгоритмический метод описания деятельности оператора.



4. Назовите основные группы комплектующих элементов.
5. Каким образом производится выбор оптимального варианта компоновки панели управления системой (прибором)?
6. Как производится выбор цвето-тонового решения интерьера и рабочей системы?

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5**

1. Что понимается под понятием рабочее место оператора?
2. Что понимается под антропометрическими характеристиками?
3. Определите характеристики норм деятельности оператора?
4. Как производится выбор оптимального варианта компоновки рабочего места оператора?
5. Что входит в понятие микроклимата?
6. Определите понятия классификации оборудования системы и рабочих положений оператора.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Параметры составления ЛСА и расчет его основных характеристик

1	2
1	В соответствии с инструкцией по эксплуатации составить описание членов алгоритма и ЛСА
2	Выявить в алгоритме операторы А и логические условия
3	Составить таблицу членов алгоритма
4	Определить число групп операторов $n_0$ и логических условий $n_{л}$ в алгоритме
5	Разбить алгоритмы на комплексные группы и определить $m_i$ $m_{oi}$ $m_{ли}$
6	Вычислить по формулам (1.1) и (1.2) коэффициенты Z и L
7	Составить таблицу в соответствии с примером П.1.2.
8	Произвести набор алгоритма с наилучшими характеристическими значениями, а на его основе – наиболее оптимальный вариант решения лицевой панели

Таблица П2

№ пп	Наименование операторов (А) и логических условий (Р)	Обозначение
1	2	3
1	Включен тумблер «сеть»	$A_1$
2	Горит лампочка «сеть»	$P_2$
3	Установлен в положение 1 переключатель рода работ	$A_3$
4	Включен тумблер рода работ «ТЛФ-ТЛ5»	$A_4$
5	Проведен контроль положения ручки «ТЛФ-ТЛГ»	$A_5$
6	Проведена установка частоты ручкой 4	$A_6$
7	Установлена настройка	$P_7$

№ пп	Наименование операторов (А) и логических условий (Р)	Обозначение
1	2	3
8	Проведена регулировка громкости ручкой 6	A <sub>8</sub>
9	Выключен тумблер «сеть»	A <sub>9</sub>
10	Погасла лампочка «сеть»	P <sub>10</sub>
11	Доложено о выполнении работы	A <sub>11</sub>

Формула для определения ЛСА имеет вид:

$$A_1P_2 A_3A_4P_4 A_6A_7 A_8A_9P_{10} A_{11},$$

откуда  $N=11$   $n_0=5$ .

Тогда в соответствии с (1.1)

$$\sum = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^{n_0} \frac{m_{oi}^2}{m_i} = \frac{1}{11} \left( \frac{1^2}{2} + \frac{2^2}{3} + \frac{1^2}{2} + \frac{2^2}{3} + \frac{1^2}{1} \right) = 0,43.$$

Для определения  $n_l$  и  $N^*$  алгоритм разделится на комплексные группы, которые начинаются с логического условия

$$P_2A_3A_4 P_5A_6 P_7A_8A_9 P_{10}A_{11}$$

Определим  $N^*=(11-1)=10$  и  $n_l=4$ ,

По формуле (1.2) вычислим  $L = \frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^{n_l} \frac{m_{lj}}{m_j} = 0,17$

Таблица П3

Среднее время считывания информации

Характер информации	$\Delta t$ , мс	Характер информации	$\Delta t$ , мс
Поиск простых геометрических символов	200	Чтение одной буквы (цифры)	310
Фиксация загорания (погасания) индикатора	280	Поиск отметки на экране	370

Продолжение табл. ПЗ

Характер информации	$\Delta t$ , мс	Характер информации	$\Delta t$ , мс
Считывание показаний с «крупной» шкалы	120	Ознакомление с ситуацией, обозначенной условными знаками	680
Поиск условных знаков	300	Считывание показаний приборов	1500-1800

Таблица П4

Среднее время выполнения моторных действий

Характер действия	$\Delta t$ , мс	Характер действия	$\Delta t$ , мс
Нажимное движение (кнопка, клавиша)	170/ 180	Вращение рукоятки	330/ 200
Ударное движение для непродолжительного времени работы	150/ 170	Движение рукоятки сверху-вниз Слева-направо (Зависит от амплитуды)	250/ 280 250/ 280
Для продолжительного	1000/ 1500		
Переключение (тумблер)	750/ 800		

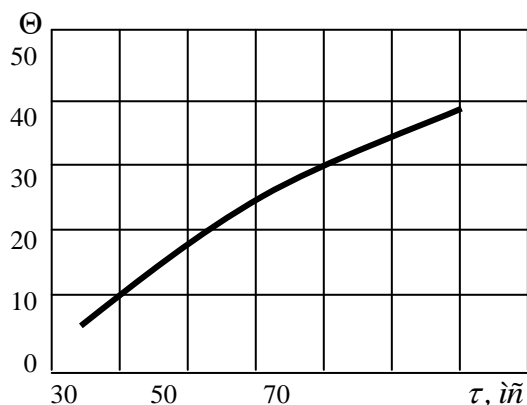


Рис. П1. Характеристическая кривая для определения времени перевода глаз оператора в зависимости от угла их поворота относительно центральной оси зрения (ось направлена в логический центр панели управления)

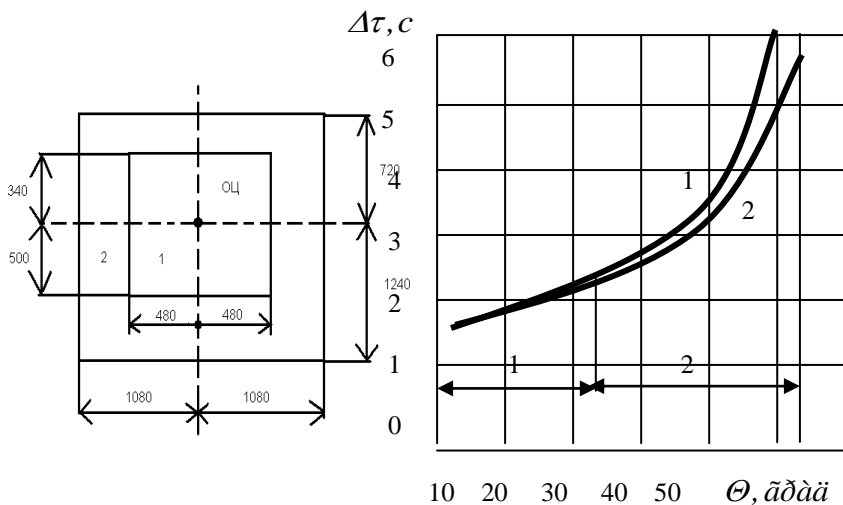


Рис. П2. Зрительные панели прибора и зависимость времени от величины угла наблюдения относительно

оптического центра: 1 – центральная зона; 2 – периферическая зона

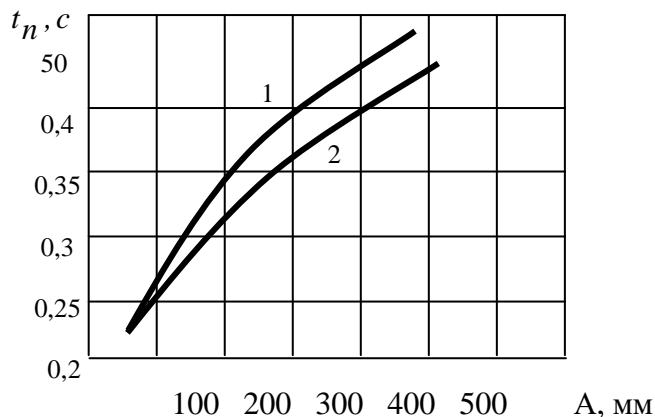


Рис. ПЗ. Характеристическая кривая для определения продолжительности времени переноса руки оператора в зависимости от амплитуды движения и режима работы зрительного аппарата: 1 - режим зрения на одном участке панели, 2 – режим свободного времени

Таблица П5

Величина коэффициента отражения света от поверхности различных материалов

Характеристика поверхности	$\rho$ , отн.ед	Характеристика поверхности	$\rho$ , отн.ед
Окись магния на поверхности экрана	0,98	Хром полированный	0,55
Белая клеевая краска	0,8	Сталь полированная	0,56
Серебро полированное	0,91	Никель полированный	0,60
Алюминий полированный	0,88	Лак черный матовый	0,04-0,02

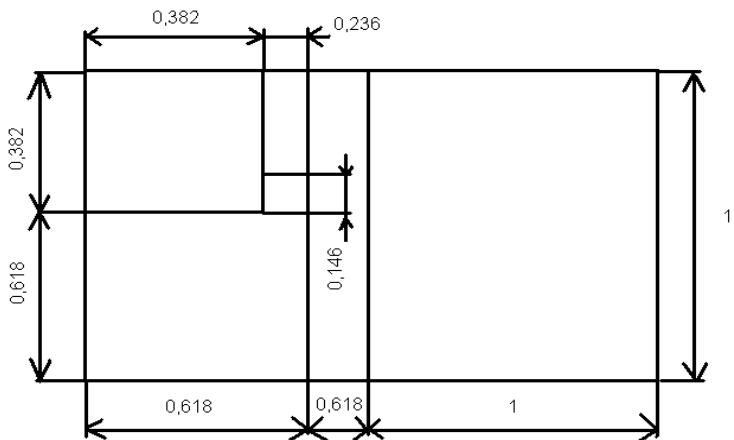


Рис. П4. Пример пропорционального деления с использованием чисел “Золотого сечения”

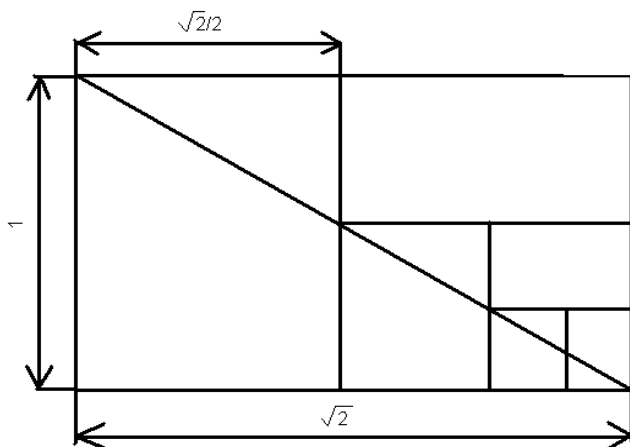


Рис. П5. Пример пропорционального деления с использованием правила Портсмана

Таблица П6

Стороны прямоуголь ника	Размеры, мм								
	а	6	6,3	6,7	7,1	7,5	8	8,5	9
в	10	10,6	11,2	11,8	12,5	13,2	14	15	16

Указанное соотношение можно использовать для выбора пропорциональных соотношений сторон лицевой панели.

Таблица П7

Цвет поверхнос ти	$\rho$ , отн.ед	Цвет поверхност и	$\rho$ , отн.ед	Цвет поверхно сти	$\rho$ , отн.ед	Цвет поверхнос ти	$\rho$ , отн.ед
Белый	0,9	Зеленый		Серый		Синий	0,55
Желтый		Светлый	0,65	Светлый	0,75	Светлый	0,13
Светлый	0,75	Средний	0,52	Средний	0,55	Темный	0,10
средний	0,65	темный	0,10	темный	0,30	коричнев ый	0,07



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фёдоров, В.К. Художественное конструирование технологического оборудования в электронном машиностроении [Текст] / В.К. Федоров. - М.: Энергия, 1975.
2. Сомов Ю.С. Композиция в технике машиностроения – М.: Высш. шк., 1977.
3. Душков А.Б. и др. Основы инженерной психологии. – М.: Высш. шк., 1977.
4. Эргономика: сборник /Под ред. В.Ф. Бенда. – М.: Мир, 1971.
5. Варламов Р.Г. Основы художественного конструирования РЭА.- М.: Сов. радио, 1967.
6. Художественное проектирование / под ред. Б.В. Пекумова, Г.Д. Щедрина. – М.: Просвещение, 1979.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 4. Эргодизайнерская модернизация панели управления электронным средством .....	1
Лабораторная работа № 5. Эргономическая разработка рабочего места оператора .....	188
Требования к отчёту и его содержанию .....	30
Контрольные вопросы к лабораторной работе № 4 .....	30
Контрольные вопросы к лабораторной работе № 5 .....	31
Приложение .....	32
Библиографический список .....	39

ЭРГОДИЗАЙНЕРСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАНЕЛИ  
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ СРЕДСТВОМ  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Технический дизайн»  
для студентов направления 11.03.03 «Конструирования и  
технология электронных средств»  
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных  
средств») всех форм обучения

Составители:

доктор. техн. наук А.В. Башкиров,  
канд. техн. наук И.С. Бобылкин.

Компьютерный набор И.С. Бобылкин.

Подписано к изданию \_\_\_\_\_.  
Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14