



Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры

---

А.К.Кондаков

# **ОСНОВЫ ЭРГОНОМИКИ И ДИЗАЙНА РЭС БН**

Методические указания  
для проведения практических занятий

ТОМСК 2011

## Содержание

1	Методические указания к выполнению работы №1 .....	3
1.1	Методы обработки результатов инженерно – психологического эксперимента .....	3
1.1.1	Цель выполнения работы .....	3
1.1.2	Общие сведения .....	3
1.1.3	Вопросы для самопроверки .....	9
1.1.4	Пример решения типовой задачи.....	9
1.1.5	Задачи для решения контрольной работы .....	12
1.2	Косвенные методы инженерно – психологических измерений	
1.2.1	Цель выполнения контрольной работы .....	16
1.2.2	Общие сведения .....	16
1.2.3	Вопросы для самопроверки .....	22
1.2.4	Пример решения типовой задачи.....	22
1.2.5	Задачи для решения контрольной работы.....	25
2	Методические указания к выполнению контрольной работы №2	
2.1	Цель выполнения работы .....	29
2.2	Методические указания.....	29
2.3	Анализ исходных данных для компоновки ЛПУ .....	30
2.4	Структурирование лицевой панели управления.....	32
2.5	Эргономическое обеспечение лицевой панели управления	
2.6	Композиционная отработка лицевой панели .....	36
2.7	Цветофактурная проработка лицевой панели.....	41
2.8	Рекомендуемый порядок выполнения контрольной работы	
2.9	Факторы, учитываемые при оценке контрольной работы	
3	Список рекомендуемой литературы .....	67

## Введение

Данное учебное методическое пособие предназначено для выполнения практических работ по курсу «Основы эргономики и дизайна радиоэлектронных средств бытового назначения (РЭС БН)» студентами дневного обучения. В учебном методическом пособии приведены теоретические положения, примеры решения задач эргономического, инженерно – психологического и художественно – конструкторского профиля. Даны рекомендации по художественно – конструкторскому проектированию лицевых панелей РЭА. В пособии приведены расчетные соотношения, необходимые для выполнения работ, что позволяет свести к минимуму потребность в дополнительной литературе.

Учебное методическое пособие предназначено для студентов специальности 210303, но может быть использовано и студентами других специальностей радиотехнического и конструкторского профиля.

## **1. Методические указания к выполнению работы №1**

Первая работа №1 предусматривает решение студентом одной задачи из двух тем занятий по курсу «Основы эргономики и дизайна РЭС БН». Номера вариантов задач с 1 по 10 представлены в конце первой темы, варианты с 11 по 20 - в конце второй темы. Перед выполнением работы следует внимательно изучить общие сведения и примеры решения задач по указанным ниже темам и, руководствуясь методическими указаниями, приведенными в них, приступить к выполнению своего варианта задачи.

Номер варианта задания студенту назначает преподаватель.

Работа с решением задачи, с указанием фамилии студента, номера группы, наименования дисциплины и варианта сдается преподавателю для проверки.

### **1.1 Методы обработки результатов инженерно-психологического эксперимента**

#### **1.1.1 Цель выполнения работы**

1. Получить навыки в применении методов математической статистики при обработке и интерпретации экспериментальных инженерно – психологических и эргономических данных.

2. Научиться практически использовать следующие способы обработки результатов инженерно-психологического эксперимента:

- а) вычисление характеристик случайных величин;
- б) проверка статистических гипотез относительно вычисленных характеристик;
- в) оценка влияния постороннего фактора на исследуемую психофизиологическую характеристику.

#### **1.1.2 Общие сведения**

Характеристики деятельности оператора (время решения задачи, число ошибок, психологические и физиологические показатели состояния организма и др.), получаемые в результате экспериментальных исследований, являются случайными величинами. Поэтому обработку результатов инженерно-психологического эксперимента нужно проводить статистическими методами. Основные задачи, рассматриваемые в данном задании, следующие:

- а) определение числовых характеристик случайных величин;
- б) проверка статистических гипотез относительно найденных числовых характеристик (сравнение числовых характеристик между собой);

в) проверка влияния действия какого-либо фактора на изучаемую характеристику деятельности оператора.

Основные числовые характеристики случайных величин – математическое ожидание и дисперсия. Математическое ожидание характеризует среднее значение исследуемой случайной величины, а дисперсия – степень разброса значений случайной величины вокруг ее среднего значения.

Предположим, что в результате эксперимента получено  $N$  значений характеристики деятельности оператора (времени реакции, числа ошибок и т. д.)  $x_1, x_2, \dots, x_N$ . Тогда математическое ожидание

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (1.1)$$

а выборочная дисперсия

$$D(x) = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}. \quad (1.2)$$

Величина

$$\sigma = \sqrt{D(x)} \quad (1.3)$$

называется средним квадратическим отклонением и имеет ту же размерность, что и случайная величина. При вычислении среднеквадратического отклонения и дисперсии все значения  $x_i$  для удобства вычислений можно увеличить (уменьшить) на одну и ту же величину. На их значении это не отразится.

Если число элементов в выборке достаточно велико ( $N > 50$ ), то вычисления по формулам (1.1)...(1.3) становятся очень громоздкими. Чтобы облегчить вычисления, данные группируем. Для этого всю область изменения величины  $x$  разбиваем на  $k$  интервалов одинаковой длины. Число элементов выборки, попавших в  $i$ -й интервал, обозначаем  $n_i$ . Тогда математическое ожидание и дисперсию выборки находим по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i x_i; \quad \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2, \quad (1.4)$$

где:  $k$  – число интервалов, равное, в зависимости от объема выборки, 5...15;

$x_i$  – середина  $i$ -го интервала.

При математической обработке результатов эксперимента приходится часто сравнивать их математические ожидания или дисперсии. Это нужно потому, что ввиду ограниченности объема выборки ее числовые характеристики (математическое ожидание и дисперсия) также являются случайными величинами. Поэтому различие между двумя математическими ожиданиями или дисперсиями, полученное в результате эксперимента, еще не означает, что они действительно различаются (различие может оказаться случайным, незначимым ввиду ограниченности объема выборки). Достоверный вывод о расхождении двух числовых характеристик (о принадлежности их к различным выборкам) можно сделать лишь в результате его проверки с помощью статистических критериев, которые применяются только в том случае, если сравниваемые величины подчинены нормальному закону распределения.

Различие между дисперсиями считается существенным, т.е. неслучайным, если выполняется условие

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} > F_{1-p} \cdot f_1 f_2 \quad (1.5)$$

где:  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  – сравниваемые дисперсии;  $F_{1-p}$  – случайная переменная, подчиненная распределению Фишера с  $f_1$  и  $f_2$  степенями свободы;  $p$  – уровень значимости.

Уровень значимости  $p$  показывает вероятность ошибки при проверке гипотезы о равенстве сравниваемых величин. При проверке полученных результатов будем пользоваться уровнем значимости  $p = 0.05$ . Это значит, что при проверке гипотез о равенстве двух величин в 5% случаев можем допустить ошибку, признав полученное расхождение неслучайным (значимым).

Если между дисперсиями нет существенных различий, т.е. неравенство (1.5) не выполнено, то для оценки достоверного вывода о расхождении математических ожиданий сравниваемых выборок нужно использовать средневзвешенную дисперсию

$$\sigma^2 = \frac{(N-1)\sigma_1^2 + (N-1)\sigma_2^2}{N_1 + N_2 - 1} \quad (1.6)$$

Значения величины  $F$  для уровня значимости  $p = 0,05$  и различных степеней свободы  $f_1$  и  $f_2$  приведены в табл. 1. При пользовании табл. 1 и формулы (1.5) следует иметь в виду, что обозначение  $f_1$  везде относится к выборке с большей выборочной дисперсией.

Таблица 1

$f_2$	Значение $F$ при $f_1$									
	1	2	3	4	5	6	12	24	50	$\infty$
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,9	249,0	252,0	254,3
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,7	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4	4,4
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,3	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	3,0	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,8	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,6	2,5
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,2	2,1
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	2,0	1,8
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6
60	4,0	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,6	1,4
120	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,5	1,2
$\infty$	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,3	1,0

Сравнение математических ожиданий проводим в предположении, что дисперсии выборок  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  различаются несущественно. Различие между

математическими ожиданиями считается неслучайным, если выполняется условие:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > t_{1-p} \sqrt{D \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)}, \quad (1.7)$$

где:  $t_{1-p}$  – случайная величина, подчиняющаяся закону Стьюдента с  $f = N_1 + N_2 - 2$  степенями свободы;  $D$  – средневзвешенная дисперсия, вычисленная по формуле (1.6).

Значения критерия Стьюдента ( $t$ -критерия) на уровне значимости  $p = 0.05$  для различного числа степеней свободы  $f$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

$f$	$t_{0.95}$	$f$	$t_{0.95}$	$f$	$t_{0.95}$
1	6.31	8	1.86	25	1.71
2	2.92	9	1.83	30	1.70
3	2.35	10	1.81	40	1.68
4	2.13	12	1.76	60	1.67
5	2.02	13	1.75	120	1.66
6	1.94	15	1.74	$\infty$	1.64
7	1.90	20	1.73		

При обработке результатов инженерно-психологического эксперимента часто необходимо проверить влияние какого-либо фактора на исследуемый показатель деятельности оператора. Для этого применяем метод дисперсионного анализа, целью которого является изучение влияния переменных факторов на генеральное среднее наблюдаемой величины.

Применение дисперсионного анализа возможно при соблюдении следующих условий:

- а) изучаемая величина подчинена нормальному закону распределения;
- б) измерения этой величины на каждом уровне изменения фактора равноточны, т.е. дисперсия не меняется при изменении фактора.

Рассмотрим основные положения методики однофакторного дисперсионного анализа, применяемого при изучении влияния одного какого-либо фактора. В общей постановке задача формулируется следующим образом. Имеется  $k$  уровней изменения фактора  $A$ . На каждом уровне зафиксировано  $N$  значений измеряемой величины. Всего будем иметь  $k \cdot N$  измерений, обозначаемых  $X_{ij}$ , где  $i$  – условный номер уровня фактора ( $i = 1, 2, \dots, k$ ),  $j$  – номер измерения ( $j = 1, 2, \dots, N$ ). Результаты измерений сведем в табл. 3.

Таблица 3

Номер наблюдения	Значение случайной величины при изменения фактора					
	$A_1$	$A_2$	...	$A_i$	...	$A_k$
1	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1i}$	...	$X_{1k}$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2i}$	...	$X_{2k}$
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
$j$	$X_{j1}$	$X_{j2}$	...	$X_{ji}$	...	$X_{jk}$

·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
N	X <sub>N1</sub>	X <sub>N2</sub>	...	X <sub>Ni</sub>	...	X <sub>Nk</sub>
$\bar{x}_i$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$		$\bar{X}_i$		$\bar{X}_k$
$\sigma_i^2$	$\sigma_1^2$	$\sigma_2^2$	...	$\sigma_i^2$	...	$\sigma_k^2$

Среднее значение и дисперсию измеряемой величины на  $i$  – м уровне изменения фактора определяем по формулам:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij}; \quad \sigma_i^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2. \quad (1.8)$$

Если между дисперсиями  $\sigma_i^2$  нет существенных различий, то все их можно использовать для оценки генеральной дисперсии

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 = \frac{1}{k(N-1)} \left[ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^N x_{ij} \right)^2 \right]. \quad (1.9)$$

Эта дисперсия имеет  $k \cdot (N-1)$  степеней свободы. Кроме того, нужно определить дисперсию фактора А по всем  $N$  наблюдениям:

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2, \quad (1.10)$$

где:  $\bar{x}$  - общее среднее значение всех измерений,

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i = \frac{1}{kN} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}. \quad (1.11)$$

Дисперсия  $\sigma_i^2$  имеет  $k-1$  степеней свободы. Для того, чтобы влияние фактора А было значимым, необходимо и достаточно, чтобы дисперсия  $\sigma_A^2$  значимо отличалась от  $\sigma_0^2$ . Указанное сравнение проводим по критерию Фишера, т.е. влияние фактора А признаем значимым (неслучайным), если

$$\frac{\sigma_A^2}{\sigma_0^2} > F_{1-p} \quad f_1; f_2 \quad (1.12)$$

где:  $F$  – распределение, которое имеет  $f_1 = k-1$  и  $f_2 = k \cdot (N-1)$  степеней свободы.

В случае значимости влияния фактора А на изучаемую величину (особенно при случайном изменении фактора) важно сравнить между собой действия фактора и случайных причин. Иными словами, необходимо определить, какая часть общей дисперсии обусловлена случайными причинами, а какая часть – изменением фактора, т.е. определить компоненты дисперсии. Можно показать, что дисперсия фактора А

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma_A^2 - \sigma_0^2}{N}. \quad (1.13)$$

Общая дисперсия всех наблюдений

$$\sigma_{\text{общ}}^2 = \sigma_0^2 + \sigma_1^2. \quad (1.14)$$

Если результаты дисперсионного анализа показывают значимость влияния фактора А, то в некоторых случаях необходимо определять, какие средние значения различны. Эту оценку можно получить с помощью критерия Стьюдента.

Таблица 4

$N_2$	$N_1$	Значение $d$ при $\theta^0$						
		0	15	30	45	60	75	90
6	6	2,45	2,44	2,43	2,43	2,43	2,44	2,45
	8	2,45	2,43	2,40	2,36	2,33	2,31	2,30
	12	2,45	2,42	2,37	2,30	2,24	2,19	2,18
	24	2,45	2,42	2,34	2,25	2,16	2,09	2,06
	$\infty$	2,45	2,41	2,32	2,20	2,08	1,99	1,96
8	6	2,30	2,31	2,33	2,36	2,40	2,43	2,45
	8	2,30	2,30	2,29	2,29	2,29	2,30	2,31
	12	2,30	2,29	2,26	2,23	2,20	2,18	2,18
	24	2,30	2,28	2,24	2,17	2,12	2,08	2,06
	$\infty$	2,30	2,27	2,21	2,13	2,04	1,98	1,96
12	6	2,18	2,19	2,40	2,30	2,37	2,42	2,45
	8	2,18	2,18	2,20	2,23	2,26	2,29	2,31
	12	2,18	2,17	2,17	2,17	2,17	2,18	2,18
	24	2,18	2,17	2,14	2,11	2,08	2,07	2,06
	$\infty$	2,18	2,16	2,12	2,06	2,01	1,97	1,96
24	6	2,06	2,09	2,16	2,25	2,34	2,42	2,45
	8	2,06	2,08	2,12	2,17	2,24	2,29	2,31
	12	2,06	2,07	2,08	2,11	2,14	2,17	2,18
	24	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
	$\infty$	2,06	2,06	2,04	2,01	1,98	1,97	1,96
$\infty$	6	1,96	1,99	2,08	2,20	2,32	2,41	2,45
	8	1,96	1,98	2,04	2,13	2,21	2,28	2,31
	12	1,96	1,97	2,01	2,06	2,12	2,16	2,18
	24	1,96	1,97	1,98	2,01	2,03	2,06	2,06
	$\infty$	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96

Рассматриваемые до сих пор методы сравнения математических ожиданий (двух – с помощью критерия Стьюдента и нескольких – методом дисперсионного анализа) справедливы в предположении равенства дисперсий сравниваемых выборок. Однако в практике инженерно-психологических исследований очень часто имеют место случаи, когда необходимо сравнивать математические ожидания двух выборок, дисперсии которых существенно различаются. Различие между математическими ожиданиями  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  двух выборок, дисперсии которых  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  существенно различны, будет значимым при выполнении условия

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > d_{1-p} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (1.15)$$

где:  $d_{1-p}$  – коэффициент, значения которого зависят от объема выборок  $N_1$  и  $N_2$ , уровня значимости  $p = 0.05$  для различных значений  $N_1, N_2$ , и некоторого угла

$$\theta = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}}. \quad (1.16)$$

Значение коэффициента  $d$  на уровне значимости  $p = 0.05$  для различных значений  $N_1$ ,  $N_2$  и  $\theta$  приведены в табл. 4.

### 1.1.3 Вопросы для самопроверки

1. Почему обработку результатов инженерно-психологического эксперимента необходимо проводить методами математической статистики?
2. Назовите основные группы факторов, влияющих на результаты деятельности оператора.
3. В чем отличие техники вычисления математического ожидания и дисперсии при малой и большой выборках?
4. Как сравниваются дисперсии двух выборок?
5. При каких условиях и как сравниваются математические ожидания?
6. Почему различие двух дисперсий (математических ожиданий), полученных в результате эксперимента, еще не означает, что эти величины действительно различны? Что нужно сделать, чтобы убедиться в их различии?
7. Какие задачи статистической обработки результатов эксперимента проводятся методом дисперсионного анализа? Приведите примеры таких задач.
8. Какие необходимы условия, чтобы применять дисперсионный анализ?
9. Каково необходимое и достаточное условие для того, чтобы действие фактора на исследуемую психофизиологическую переменную можно признать случайным?
10. Как можно определить компоненты общей дисперсии, вызванные влиянием случайных причин и действий изучаемого фактора?

### 1.1.4 Пример решения типовой задачи

На предприятии организуется дежурство радистов-операторов на вновь введенном в строй пункте управления. Администрации предприятия необходимо определить научно обоснованную продолжительность непрерывного дежурства операторов. Показателем для определения состояния оператора решено применить время реакции на слуховой сигнал. При опытном дежурстве десяти операторов получены значения времени реакции в миллисекундах через каждый час дежурства (табл. 5).

Таблица 5

Оператор	Время реакции оператора, мс, в часы дежурства								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	170	140	140	180	200	180	200	210	220
2	160	150	150	140	150	180	140	170	160

3	170	190	160	190	160	210	190	200	200
4	110	100	110	130	110	120	130	130	120
5	150	130	140	160	140	160	180	190	180
6	160	170	140	150	120	150	190	190	200
7	130	140	130	150	160	150	180	190	190
8	120	100	120	150	130	140	160	150	160
9	190	160	190	220	200	190	190	210	210
10	140	120	120	140	130	120	140	160	160
$\bar{\tau}_i$	150	140	140	160	150	160	170	180	180
$\sigma_i^2$	622	845	533	644	955	889	644	711	911
$\bar{\tau}_i - \bar{\tau}_1$	10	0	0	20	10	20	30	40	40

На основании обработки полученных результатов определить допустимую продолжительность дежурства радистов-операторов.

Задачу решаем в два этапа.

На первом этапе методом дисперсионного анализа произведем общую оценку влияния фактора – продолжительности непрерывного дежурства на работоспособность операторов:

1. Определяем среднее значение времени реакции для каждого уровня изменения фактора (после каждого часа дежурства). Поскольку число наблюдений  $N=10$  невелико, это можно сделать по формуле (1.1). При  $t = 0$  (до начала дежурства) среднее значение времени реакции

$$\bar{\tau}_0 = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} \tau_{0j} = \frac{1}{10} (70 + 160 + 170 + 110 + 150 + 160 + 130 + 120 + 190 + 140) = 150 \text{ мс}$$

Аналогично находим значения времени реакции и для других  $t$  (табл.5).

По формуле (1.2) определяем дисперсию времени реакции для каждого уровня изменения фактора. Для  $t = 0$

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{10-1} \sum_{j=1}^{10} (\tau_{0j} - \bar{\tau}_0)^2 = \frac{1}{10-1} (50-170)^2 + (150-160)^2 + (50-170)^2 + (50-110)^2 + (50-160)^2 + 150-116^2 + (150-130)^2 + (150-120)^2 + (150-190)^2 + (150-140)^2 \approx 622 \text{ мс}^2.$$

Аналогично находим дисперсии и для других значений времени дежурства (табл.5).

Проверяем неизменность дисперсии при изменении продолжительности дежурства. Для этого сравниваем между собой наибольшую и наименьшую дисперсии – соответственно  $\sigma_4^2$  и  $\sigma_2^2$ .

Если различие между ними будет незначимо, то различие между остальными дисперсиями будет тем более незначимо. По табл. 1 для  $f_1 = f_2 = 9$  имеем  $F_{0.95} = 3,2$ . Поскольку отношение дисперсий

$$\frac{\sigma_4^2}{\sigma_2^2} = \frac{955}{533} = 1,78, \quad \text{что меньше } F_{0.95} = 3,2, \quad \text{то следует, что различие между}$$

ними незначимо. Тем более незначимо различие между остальными дисперсиями. Следовательно, необходимое условие применимости дисперсионного анализа выполнено.

Определяем средневзвешенную дисперсию

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 = \frac{1}{9} (622 + 845 + 533 + 644 + 955 + 889 + 644 + 711 + 911) \approx 752 \text{ мс}^2.$$

Находим среднее значение всех наблюдений:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \tau_i = \frac{1}{9} (150 + 140 + 140 + 1160 + 150 + 160 + 1170 + 180 + 180) \approx 159 \text{ мс}^2.$$

Вычисляем дисперсию фактора (продолжительности дежурства) по всем  $N=10$  наблюдениям:

$$\sigma_A^2 = \frac{N}{k-1} (\bar{\tau}_i - \bar{\tau})^2 = \frac{10}{9-1} [2(150-159) + 2(140-159) + 2(160-159) + (170-159) + 2(180-159)] = 2360 \text{ мс}^2.$$

Проверяем влияние продолжительности дежурства на работоспособность оператора. По табл. 1 для  $f_1 = k-1 = 8$  и  $f_2 = k \cdot (N-1) = 81$  степеней свободы находим  $F_{0,95} = 2,1$ .

Поскольку отношение дисперсий

$$\frac{\sigma_A^2}{\sigma_0^2} = \frac{2360}{752} \approx 3,14 \text{ больше } F_{0,95} = 2,1, \text{ продолжительность дежурства в целом оказывает значимое влияние на работоспособность оператора.}$$

Второй этап расчета. Поскольку продолжительность дежурства оказывает значимое влияние на работоспособность оператора, необходимо определить ту максимально допустимую продолжительность дежурства, при которой это влияние еще не будет значимым:

1. Определяем фактическое увеличение среднего значения времени реакции  $(\bar{\tau}_i - \bar{\tau}_1)$  для каждой продолжительности дежурства (табл. 5).

2. Находим допустимое увеличение среднего значения времени реакции

$$\Delta \tau_{\text{дон}} = t_{1-p} \sqrt{D \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)} = 1,74 \sqrt{752 \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)} \approx 21,6 \text{ мс}$$

3. Анализируя табл. 5 можно сделать вывод, что максимальная продолжительность дежурства, при которой фактическое увеличение времени реакции  $(\bar{\tau}_i - \bar{\tau}_1) < \Delta \tau_{\text{дон}}$ , составляет  $t = 5$  ч. Это значение и можно рекомендовать как максимально допустимую продолжительность дежурства операторов.

В заключение определяем компоненты общей дисперсии. Дисперсию времени реакции, обусловленную изменением продолжительности дежурства, находим по формуле (1.13):

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma_A - \sigma_0^2}{N} = \frac{2360 - 752}{10} \approx 161 \text{ мс}^2.$$

Общая дисперсия наблюдений

$$\sigma_{\text{общ}}^2 = \sigma_0^2 + \sigma_1^2 = 752 + 161 = 913 \text{ мс}^2.$$

Следовательно,  $(161 \cdot 100) / 931 = 17,3\%$  общей дисперсии вызваны изменением продолжительности дежурства, а остальная часть (82,7%) – индивидуальными различиями между операторами.

### 1.1.5 Задачи для решения контрольных работ

1. Проведено  $N=100$  измерений времени простой реакции на световой сигнал. Значения времени реакции следующие, мс:

187	192	171	168	153	191	184	218	237	148
161	121	183	198	202	161	143	172	131	212
127	192	168	187	174	215	195	149	209	193
235	188	201	164	193	155	131	198	207	134
205	191	186	168	171	211	211	122	192	221
184	163	125	193	181	196	163	212	145	164
228	161	182	203	164	189	215	193	177	188
176	131	152	194	219	163	182	174	207	153
217	184	192	157	144	238	209	191	143	172
170	194	141	178	162	215	190	175	206	168

Определить математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратическое отклонение времени реакции.

2. Одним из показателей возникновения напряженности в работе оператора является увеличение вариативности (разброса) значений времени реакции. В процессе работы оператора по обычному алгоритму зафиксировано  $N_1=100$  значений времени реакции (см. задачу 1). При некотором усложнении алгоритма работы проведено  $N_2=60$  измерений времени реакции.

В результате статистической обработки этих данных определено  $\bar{\tau}_2 = 186 \text{ мс}$ ,  $D_2(\tau) = 1121 \text{ мс}^2$ .

Определить, возникает ли напряженность в работе оператора при усложнении алгоритма и можно ли его рекомендовать как рабочий алгоритм?

3. В работе исследовалось влияние способа преподнесения учебного материала в процессе обучения операторов АСУ. В одном случае материал, подлежащий усвоению, вводился в виде специально поставленных проблемных задач (проблемный метод), в другом случае – в виде готовых формулировок, образцов (объяснительный метод).

Для сравнения между собой этих методик было создано две экспериментальные группы операторов. По первой методике (проблемный метод) обучалось  $N_1=10$  операторов, по второй (объяснительный метод) –  $N_2=6$  операторов. К концу обучения для каждой группы были получены следующие результаты: среднее количество ошибок за один сеанс тренировки  $\bar{x}_1 = 1.81$  для первой группы и  $\bar{x}_2 = 0.57$  – для второй группы, дисперсии количества ошибок  $D_1(x) = 0.57$  и  $D_2(x) = 0.89$ .

Можно ли на основании этих данных считать, что проблемный метод обучения операторов эффективнее объяснительного?

4. Предположим, что по данным задачи 3 проблемный метод более эффективнее, чем объяснительный. Однако применение его в практике обучения операторов связано с коренной перестройкой процесса обучения и требует определенных затрат. Поэтому внедрение нового метода можно рекомендовать только в случае достаточной уверенности в его эффективности.

Что нужно изменить в условиях задачи 3, чтобы можно было с большей уверенностью утверждать о преимуществах проблемного метода и, следовательно, с большим основанием применять его в практике обучения операторов АСУ?

5. На пульте управления предполагается провести некоторую реконструкцию. Поскольку проведение реконструкции связано с определенными материальными затратами, вначале необходимо проверить целесообразность её применения. Для этого создается две равноценные группы операторов, каждая численностью  $N=25$  человек. Результаты работы первой группы на пульте старой конструкции:  $\bar{\tau}_1=18.7$  с,  $\sigma_1=4.1$  с; результаты работы второй группы на макете пульта управления новой конструкции:  $\bar{\tau}_2=16.6$  с,  $\sigma_2=3.9$  с, где  $\bar{\tau}$  - среднее значение времени решения экспериментальной задачи, а  $\sigma$  - его среднеквадратическое отклонение.

Сделать вывод о целесообразности реконструкции на пульте управления.

6. В работе исследовались два пульта управления. Сравнение пультов проводилось по времени опознания показаний операторами. В экспериментах на каждом пульте управления работали группы по 7 человек. Среднее значение времени опознания для первого пульта равно 0.5 с, для второго – 0.4 с. Дисперсии времени опознания в этой работе не приводилось, однако опыт исследований показал, что для задач такого типа коэффициент вариации (отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию) составляет обычно около 0.2, т.е.  $\sigma_\tau = 0.1$  с.

Обосновано ли утверждение авторов о том, что второй пульт имеет преимущество перед первым по скорости восприятия информации? Сколько испытуемых нужно взять в каждой группе, чтобы при тех же условиях с 95%-ной уверенностью можно было утверждать о преимуществах второго пульта?

7. При эксплуатации телевизионной аппаратуры было обнаружено, что передающие телевизионные трубки одного из типов являются не взаимозаменяемыми по своим параметрам: установка новой трубки почти всегда требует значительной регулировки и даже изменения номиналов некоторых радиоэлементов аппаратуры. Причина этого – значительный разброс значений удельной электропроводности экрана трубок. Заводу-изготовителю предложили устранить этот недостаток. На заводе при анализе причин разброса значений электропроводимости высказали предположение, что они определяются различными индивидуальными качествами операторов, управляющих установками для нанесения покрытий на экраны трубок. Для проверки этого предположения выбрали случайным образом 4 оператора из числа работающих на этих установках, каждому из которых предложили нанести покрытия на 5 трубок. После этого замерялись значения удельной проводимости экранов. Результаты измерений (в условных единицах) приведены в табл. 6.

Таблица 6

Номер измерения	Значение удельной проводимости экранов, полученное оператором			
	1	2	3	4
1	56	64	45	42
2	55	61	46	39
3	62	50	45	45
4	59	55	39	43
5	60	56	43	41

Используя данные табл. 6, определить, влияют ли различия в характеристиках операторов на разброс параметров телевизионных трубок? Какая часть дисперсии обусловлена случайными факторами и какая обусловлена индивидуальными различиями операторов? Что необходимо предпринять для повышения стабильности параметров трубок?

8. В лабораторных условиях исследовалось влияние двух факторов – расстояния от оператора до пульта управления и количества альтернатив входного сигнала – на общее время реакции оператора и ее отдельные компоненты: сенсорную и моторную. В каждой серии исследования участвовало 26 операторов. Результаты исследования (среднее значение и дисперсия времени реакции влияния расстояния от оператора до пульта управления (при числе альтернатив входного сигнала, равном 2) на время реакции и ее компоненты) приведены в табл. 7. Результаты исследования другого фактора – ко-

личества альтернатив (при постоянном расстоянии, равном 40 см) – приведены в табл. 8.

Таблица 7

Расстояние до пульта управления, см	Измеряемая величина и ее характеристики					
	$\tau_c$		$\tau_m$		$\tau_{общ}$	
	$\bar{\tau}_c, \text{мс}$	$\sigma^2_c, \text{мс}^2$	$\bar{\tau}_m, \text{мс}$	$\sigma^2_m, \text{мс}^2$	$\bar{\tau}_{общ}, \text{мс}$	$\sigma^2_{общ}, \text{мс}^2$
10	214	1826	228	2031	442	3762
30	218	2013	274	3052	498	4825
50	224	1874	364	3218	560	4803
70	230	1998	392	2978	662	4811

Таблица 8

Количество альтернатив входного сигнала	Измеряемая величина и ее характеристики					
	$\tau_c$		$\tau_m$		$\tau_{общ}$	
	$\bar{\tau}_c, \text{мс}$	$\sigma^2_c, \text{мс}^2$	$\bar{\tau}_m, \text{мс}$	$\sigma^2_m, \text{мс}^2$	$\bar{\tau}_{общ}, \text{мс}$	$\sigma^2_{общ}, \text{мс}^2$
2	204	1621	346	3118	550	4672
4	216	1813	338	2721	554	4421
8	230	2186	336	3214	556	5176
16	258	2032	352	3192	610	4914

Определить влияние каждого фактора (расстояние от пульта управления и количество альтернатив входного сигнала) на общее время реакции и ее отдельные составляющие. Объяснить, почему для каждой графы табл. 7 и 8 общая дисперсия меньше суммы дисперсий отдельных составляющих времени реакции.

9. Некоторые виды операторской деятельности требуют от человека постоянного внимания. Контроль за состоянием внимания можно проводить с помощью анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ): в состоянии внимания наблюдается увеличение амплитуды альфа-ритма (составляющая ЭЭГ с частотой 8 – 13 Гц) по сравнению с состоянием покоя. Анализ ЭЭГ производится с помощью специального интегратора, число отсчетов которого прямо пропорционально амплитуде колебаний.

Приводятся результаты следующего эксперимента. Имеются две последовательности отсчетов интегратора альфа-ритма: для состояния внима-

ния  $\xi_1$  и для состояния оперативного покоя  $\xi_2$ . Последовательность  $\xi_1$  содержит 36 членов ( $N_1 = 36$ ),  $\xi_2$  – 51 член ( $N_2 = 51$ ). Статистические математические ожидания последовательностей соответственно  $\bar{x}_1 = 62,6$ ,  $\bar{x}_2 = 51,6$ , а их дисперсии  $\sigma_1^2 = 0,32$ ,  $\sigma_2^2 = 1,20$ .

Проверить, может ли служить индикатором состояния внимания оператора увеличение амплитуды альфа-ритма.

10. Экспериментальным путем исследовалось влияние длины  $K$  очереди сигналов, требующих одновременного внимания оператора, на результаты его работы. После обработки статистического материала для  $N=55$  операторов получены следующие зависимости математического ожидания и среднеквадратического отклонения времени решения задачи оператором от длины  $K$  очереди сигналов:

$$\overline{\tau_{onK}} = \overline{\tau_{on1}}(0,08K^2 + 0,019K + 0,975);$$

$$\sigma_K = \sigma_1(0,017K^2 + 0,014K + 0,969),$$

где:  $\tau_{on1}$  и  $\sigma_1$  – значения при  $K = 1$ ,  $\overline{\tau_{on1}} = 4,25$  с,  $\sigma_1 = 1,32$  с.

Определить допустимую длину очереди сигналов, одновременно требующих внимания оператора, которая существенно не влияет на результаты его работы.

## 1.2 КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### 1.2.1 Цель выполнения контрольной работы

Получить навыки в проведении инженерно-психологических измерений косвенными методами, используя для этого методы математической статистики и методы группового сравнения математических ожиданий случайных величин и вероятностей наступления случайных событий.

### 1.2.2 Общие сведения

Основные принципы измерения при инженерно-психологической оценке те же самые, что и при физических измерениях. Основное отличие между этими двумя видами измерений заключается в дополнительном учете специфических закономерностей человеческого поведения, связанных прежде всего с его вариабельностью. Последнее при физических измерениях, как правило, не имеет места.

Из этого следуют два вывода, касающиеся проведения инженерно-психологических измерений: 1) необходимо четко определить и зафиксировать условия, для которых требуется получить оценки деятельности оператора; 2) полученные для этих условий данные нужно обработать статистическими методами.

Методы физических и инженерно-психологических измерений могут быть прямыми и косвенными.

При прямых методах непосредственно измеряются значения искомых характеристик. Таким образом, определяется время решения задачи человеком-оператором, надежность его работы, электрофизиологические показатели состояния оператора и т.д.

При косвенных методах измеряются только вспомогательные величины, по измерению которых судят об искомых показателях. Эти вспомогательные косвенные величины называются индикаторами инженерно-психологических измерений. В качестве их, в зависимости от условий, могут быть время реакции, безошибочность работы, физиологические показатели состояния, т.е. какой-либо из показателей, определяемых прямыми методами. При проведении измерений косвенными методами используются такие характеристики (параметры) индикаторов, как математическое ожидание, дисперсия, вероятность наступления того или иного события.

Любое измерение (количественная оценка) представляет собой сравнение с некоторым эталоном. Понятие «эталон» так же, как и рассмотренное выше понятие «индикатор» и его характеристика, имеет очень большое значение в практике инженерно-психологических измерений, осуществляемых косвенными методами. В качестве эталона при этом могут выступать вероятности наступлений определенных событий (например, вероятность безошибочной работы, если индикатором является количество ошибок), математические ожидания (в случае использования в качестве индикатора непрерывных случайных величин, например время реакции).

Эталон является характеристикой индикатора для некоторых специальных условий, которые можно принять за начальные, исходные и по отношению к изменению которых определяется искомое значение изучаемого показателя деятельности оператора.

Искомые показатели деятельности оператора регистрируются (определяются) путем применения статистических критериев, т.е. проверкой различия между эталоном и соответствующей характеристикой индикатора. То значение изучаемого показателя, при котором это различие становится значимым, является искомым.

Методика регистрации искомого показателя деятельности оператора косвенным методом показана на рис.1 (а, б).

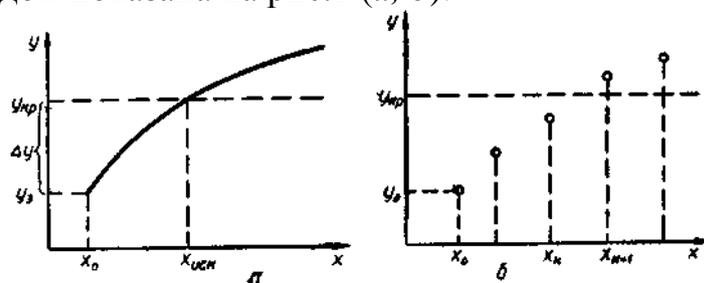


Рис.1 - Графики косвенного метода психологических измерений: а - изучаемый показатель является непрерывной величиной; б - изучаемый показатель является дискретной величиной

Пусть имеется некоторая переменная величина  $x$ , одно из значений которой требуется определить (зарегистрировать).

Это сделать непосредственно невозможно, поэтому об изменении  $x$  судят по изменению некоторой вспомогательной величины – индикатора косвенных инженерно-психологических измерений. При измерениях фиксируется некоторая характеристика индикатора  $y$ , т.е. фактически имеется зависимость  $y = \varphi(x_0)$ . Некоторое значение  $x_0$  при данных условиях принимается за исходное. Соответствующее ему значение индикатора  $y_э = \varphi(x_0)$  является эталонным. Необходимо найти такое критическое значение индикатора  $y_{кр}$  (изменение эталонного значения на величину  $\Delta y$ ), при котором различие между данным  $y_{кр}$  и  $y_э$  становится значимым. Значение показателя  $x$ , соответствующее критическому, и является искомым.

При измерении дискретных величин (рис.1, б) искомым является одно из значений  $x_k$  или  $x_{k+1}$  в зависимости от того, должно ли регистрироваться достижение или, наоборот, недостижение характеристикой индикатора своего критического значения  $y_{кр}$ . В остальном регистрация искомых значений для непрерывных и дискретных величин не имеет каких-либо различий.

Регистрация искомого показателя деятельности оператора состоит в следующем. Вначале проверяется влияние показателя  $x$  на выбранную характеристику индикатора, т.е. возможность использования характеристики  $y$  как индикатора косвенных инженерно-психологических измерений. Если характеристика индикатора – математическое ожидание, то влияние показателя  $x$  на величину  $y$  оценивается с помощью дисперсионного анализа [формулы(1.8)...(1.12)]. Если характеристика индикатора – вероятность наступления какого-либо события, то влияние  $x$  оценивается следующим способом.

Предположим, что имеется  $k$  серий независимых испытаний. Количество испытаний в  $i$ -й серии (т.е. при  $x = x_i$ ) равно  $N_i$ , количество опытов, благоприятствующих появлению события, обозначим  $m_i$ . Тогда отношение

$$P_i = m_i/N_i \quad (2.1)$$

может служить оценкой вероятности наступления события.

Различие между вероятностями  $P_i$  является неслучайным, т.е. эти вероятности принадлежат различным генеральным совокупностям, если выполняется условие

$$\sum_{i=1}^k (\tilde{P}_i - \bar{P})^2 > \chi_{1-p}^2 \quad (2.2)$$

где:  $\chi^2$  - случайная переменная, подчиненная закону распределения  $\chi^2$ , с  $f = k-1$  степенями свободы, ее значение для уровня значимости  $p = 0,05$  приведены в табл. 9.

Величины  $\tilde{P}_i$  и  $\bar{P}_i$  определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_i &= 2\sqrt{N_i} \cdot \arcsin \sqrt{P_i} \\ \bar{P}_i &= \frac{\tilde{P}_1 + \tilde{P}_2 + \dots + \tilde{P}_k}{k} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Необходимые для проведения занятия значения  $\arcsin$  приведены в табл. 10. При малых  $x < 0,4$  для вычислений можно использовать приближенное равенство

$$\arcsin x \approx x \quad (2.4)$$

Таблица 9

$f$	$\chi^2$	$f$	$\chi^2$	$f$	$\chi^2$
1	3.8	6	12.6	15	25.0
2	6.0	7	14.1	20	31.4
3	7.8	8	15.5	25	37.7
4	9.5	10	18.3	30	43.8
5	11.1	12	21.0		

Таблица 10

$x$	$\arcsin x$	$x$	$\arcsin x$	$x$	$\arcsin x$
0.32	0.32	0.72	0.80	0.90	1.12
0.45	0.47	0.75	0.85	0.92	1.17
0.50	0.52	0.77	0.88	0.95	1.25
0.55	0.58	0.80	0.93	0.97	1.33
0.60	0.65	0.82	0.96	0.98	1.37
0.65	0.71	0.85	1.01	1.00	1.57
0.70	0.77	0.87	1.06		

В случае значимого влияния показателя  $x$  на выбранную характеристику индикатора можно находить критическое значение этой характеристики, т.е. то ее значение, которое значимо отличается от эталонного. При использовании в качестве характеристики индикатора математического ожидания для этой цели применяется выражение (1.7). Значение показателя  $x$ , при котором неравенство (1.7) выполняется, является искомым.

Если же характеристика индикатора – вероятность некоторого события, то  $P_{кр}$  определяется выражением

$$|\tilde{P}_x - \tilde{P}_y| > U_{1-p} \sqrt{2} \quad (2.5)$$

где:  $U$ - случайная переменная, подчиненная стандартному нормальному распределению (если принятый уровень  $p = 0.05$ , то  $U_{0.95} = 1,64$ ).

Значение показателя  $x$ , при котором условие (2,5) выполняется, в данном случае является искомым.

Все рассмотренное выше относилось к регистрации косвенными методами характеристик человека, представляющих собой дискретные случайные величины. Применение этих методов для измерения непрерывных величин имеет свои специфические особенности. Они заключаются в следующем.

Предполагаемый диапазон изменения изучаемого показателя ( $x_{\min} \div x_{\max}$ ) разбивается на  $k$  интервалов. Ширина интервала

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} \quad (2.6)$$

Значения изучаемого показателя, при которых следует производить косвенные измерения, определяются по формуле

$$x_n = x_{\min} + n\Delta x, \quad (2.7)$$

где:  $n = 1, 2, \dots, k$ .

После измерений при выбранных значениях  $x_n$  дальнейшие действия ничем не отличаются от тех, которые выполняются при регистрации дискретных величин по формуле (1.7) или (2.5). Недостаток метода – относительно низкая точность. Ошибка регистрации равняется половине интервала  $\Delta x$ . Иными словами, в результате применения одного из указанных критериев можно определить только тот интервал  $x_n \div x_{n+1}$ , в котором лежит значение изучаемого показателя. Во многих случаях этого достаточно для дальнейшей статистической обработки.

Если нужно иметь значения изучаемого показателя, то можно предложить следующий метод. Выбирается индикатор, с помощью которого измеряется, например, вероятность какого-то события. При различных значениях  $x$  определяется его характеристика. Одним из известных методов (например, методом наименьших квадратов) строится аналитическая зависимость

$$P_x = f(x) \quad (2.8)$$

В соответствии с формулой (2.3) функция

$$\tilde{P}_x = 2\sqrt{N} \arcsin \sqrt{f(x)} = \varphi(x) \quad (2.9)$$

На основании формулы (2.5)

$$|\varphi(x) - \tilde{P}_0| > U\sqrt{2}, \text{ или } \varphi(x) > \tilde{P}_0 + U\sqrt{2} \quad (2.10)$$

Значение  $x = x_{иск}$ , при котором выражение (2.10) превращается в равенство, т.е.

$$\varphi(x_{иск}) = \tilde{P}_0 + U\sqrt{2} \quad (2.11)$$

является искомым, отсюда искомое значение изучаемого показателя деятельности оператора

$$x_{иск} = \varphi^{-1}(\tilde{P}_0 + U_{1-p}\sqrt{2}) \quad (2.12)$$

где:  $\varphi^{-1}$  – функция, обратная  $\varphi(x)$ .

Формулы (2.8) – (2.12) применяются для определения времени сохранения информации человеком в оперативной памяти. Установлено, что зависимость вероятности ошибочного воспроизведения запоминаемой человеком информации представляет собой экспоненциальную функцию от времени ожидания воспроизведения, т.е.

$$P_{ош}(\tau) = 1 - (1 - P_0) e^{-\gamma\tau} \quad (2.13)$$

где:  $P_0$  – вероятность безошибочного воспроизведения при  $\tau = 0$ ;  $\gamma$  – постоянная времени забывания.

Тогда, согласно формуле (2.9),

$$\varphi(\tau) = \tilde{P}_{ош} = 2\sqrt{N} \cdot \arcsin \sqrt{1 - (1 - P_0) e^{-\gamma\tau}} \quad (2.14)$$

Искомое значение времени сохранения информации (длительности следа памяти) можно найти из выражения (2.11), которое в рассматриваемом случае имеет вид

$$2\sqrt{N} \cdot \arcsin \sqrt{1 - (1 - P_0) e^{-\gamma\tau}} = 2\sqrt{N} \cdot \arcsin \sqrt{P_0 + U_{0.95}\sqrt{2}} \quad (2.15)$$

Из равенства (2.15) после несложных преобразований следует, что

$$\tau_{сл} = -\frac{1}{\gamma} \ln \left( \frac{1 - \sin^2 \frac{2\sqrt{N} \cdot \arcsin \sqrt{P_3} + U_{0,95} \sqrt{2}}{2\sqrt{N}}}{1 - P_3} \right). \quad (2.16)$$

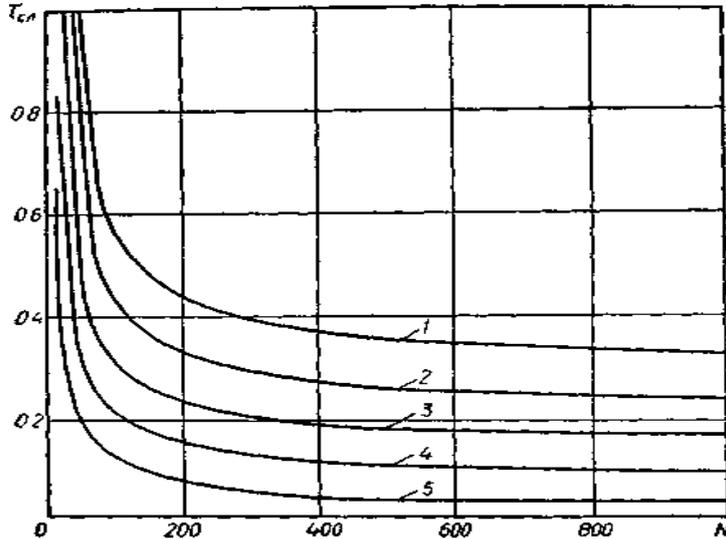


Рис.2 - Кривые зависимости результата косвенных измерений от количества опытов  $N$  и эталона измерений  $P_3$ : 1 -  $P_3=0,20$ ; 2 -  $P_3=0,15$ ; 3 -  $P_3=0,10$ ; 4 -  $P_3=0,06$ ; 5 -  $P_3=0,04$

Выражение (2.16) представляет собой искомый показатель. Действительно, при времени ожидания воспроизведения, равном или большем  $\tau_{сл}$ , вероятность безошибочного воспроизведения (индикатор косвенных измерений) значительно уменьшается по сравнению с эталонным значением.

Точность косвенных измерений существенно зависит от количества проведенных опытов. Получить математическое выражение для определения количества  $N$ , при котором обеспечивается требуемая точность вычислений, весьма трудно. Поэтому производится только качественный анализ. На рис.2, в результате расчетов по формуле (2.16) построены зависимости  $\tau_{сл}$  от  $N$  при различных  $P_3$ . Как видно из рис.2, значение  $\tau_{сл}$  при  $N \geq 150$  меняется незначительно.

Поэтому величину  $N = 150$  можно рекомендовать как достаточное количество опытов при проведении косвенных измерений.

Применение статистических критериев (1.7) и (2.5) может значительно повысить объективность инженерно-психологических измерений и тем самым уменьшить произвольный выбор значений измеряемого показателя. Эти критерии необходимы для получения оценок при инженерно-психологических измерениях, проводимых экспериментальными методами, а также методами статистического моделирования.

### 1.2.3 Вопросы для самопроверки

1. Каковы специфические отличия инженерно-психологических измерений от физических?
2. Какие два метода измерений применяются в практике инженерно-психологических исследований?
3. Какова сущность измерений показателей деятельности оператора косвенным методом?
4. Что понимается под понятиями «эталон» и «индикатор» при проведении инженерно-психологических измерений?
5. Как регистрируются изучаемые показатели деятельности оператора при косвенных методах измерений?
6. Как оценивается влияние некоторого фактора на величину вероятности того или иного события?
7. Как находится критическое значение характеристики индикатора косвенных измерений?
8. Каковы особенности косвенных измерений показателей деятельности оператора, представляющих собой непрерывные величины?
9. Как можно повысить точность измерения непрерывной величины косвенными методами?
10. Что дает применение статистических критериев при инженерно-психологических измерениях, проводимых косвенными методами?

### 1.2.4 Пример решения типовой задачи

Практическое применение косвенных методов инженерно-психологических измерений рассмотрим на примере определения характеристик оперативной памяти человека – ее объема и длительности сохранения информации. Первая из этих характеристик является дискретной, а вторая – непрерывной случайной величиной.

Определение характеристик оперативной памяти основано в данном случае на использовании основных положений модели памяти человека. Они заключаются в следующем. В деятельности оператора участвуют две формы памяти: оперативная и долговременная. Оперативная память имеет вполне постоянный объем  $K_0$  и обладает полным сохранением информации в течение времени, определяемого длительностью следа памяти  $\tau_{сл}$ . Объем памяти определяется тем количеством сигналов (стимулов), которые человек способен безошибочно запомнить и воспроизвести после одного кратковременного предъявления. Длительность сохранения информации равняется длительности следа памяти.

Информация, находящаяся в оперативной памяти, воспроизводится полностью и без потерь. Если количество запоминаемых сигналов превышает  $K_0$  или время сохранения информации больше  $\tau_{сл}$ , то в работу включается и долговременная память. Воспроизведение из долговременной памяти производится лишь с некоторой вероятностью, так как часть информации при передаче из оперативной памяти в долговременную теряется.

Следовательно, основным показателем перехода от оперативного запоминания информации к долговременному является значимое увеличение количества ошибок, которое и представляет собой индикатор косвенных измерений характеристик памяти.

Эксперимент по определению объема оперативной памяти состоял в следующем. Группе испытуемых предъявлялись последовательности из  $i$  сигналов, где  $i$  менялось от 3 до 7. Общее количество предъявленных последовательностей из  $i$  сигналов составляло  $N_i$ , количество ошибочно воспроизведенных последовательностей –  $m_i$ . Результаты эксперимента представлены в табл. 11.

Таблица 11

Длина последовательности сигналов	Значение величины				
	$m_i$	$N_i$	$P_i=m_i/N_i$	$\tilde{P}_i$	$\tilde{P}_i - \tilde{P}_3$
3	2	102	0.02	2.82	0
4	5	95	0.05	4.31	1.49
5	6	92	0.07	4.99	2.17
6	18	104	0.17	8.36	5.54
7	29	88	0.33	10.71	7.89

Анализ данных табл.11 показывает, что непосредственно ответить на вопрос, чему же равен в данном случае объем оперативной памяти, невозможно. Ведь ошибки в воспроизведении информации имеют место при любой длине последовательности сигналов. Что же считать в данном случае объемом памяти? Ответить на этот вопрос помогает применение косвенных методов измерений.

Искомый показатель – объем оперативной памяти – регистрируем в следующей последовательности:

1. Выбираем индикатор и эталон измерений. Индикатором измерения объема памяти является количество ошибочно воспроизведенных последовательностей. В качестве характеристики индикатора выбираем вероятность ошибочного воспроизведения, определяемую по формуле (2.1).

За эталон для сравнения принимаем теперь вероятность ошибочного воспроизведения при минимальной длине последовательности сигналов, т.е.  $P_3$ .

2. Проверяем прогностическую ценность выбранного индикатора, т.е. возможность регистрации с его помощью объема оперативной памяти. Для этого оцениваем характер влияния длины последовательности сигналов на вероятность ошибочного воспроизведения.

По формуле (2.3) находим значение  $\tilde{P}_i$ :

$$\tilde{P}_3 = 2\sqrt{N_3} \cdot \arcsin \sqrt{P_3} = 2 \cdot 10,1 \cdot 0,14 \approx 2,82.$$

Аналогично находим и остальные  $\tilde{P}_i$ . Их значения приведены в табл. 11.

Среднее значение величины  $\tilde{P}_i$

$$\bar{P} = \frac{2,82 + 4,31 + 4,99 + 8,36 + 10,71}{5} = 6,24.$$

По формуле (2.2) находим

$$\sum_{i=3}^7 \bar{P} - \tilde{P}_i^2 = (6,24 - 2,82)^2 + (6,24 - 4,31)^2 + (6,24 - 4,99)^2 + (6,24 - 8,36)^2 + (6,24 - 10,71)^2 \approx 40,8 > \chi^2 = 9,5.$$

Поскольку найденное значение суммы больше табличного (табл. 9), равного  $\chi^2 = 9,5$ , необходимо признать, что влияние длины последовательности сигналов оказывает значимое влияние на вероятность ошибочного воспроизведения. Следовательно, с помощью этого индикатора можно проводить косвенные измерения.

3. Определяем, при каком  $i$  начинается значимое увеличение вероятности ошибочного воспроизведения. Для этого находим, при каком  $i$  выполняется условие (2.5):

$$|\tilde{P}_9 - \tilde{P}_i| > U_{0,95} \sqrt{2} = 1,64 \cdot 1,41 \approx 2,33.$$

Из анализа разностей  $\tilde{P}_i - \tilde{P}_9$  (табл. 11) видно, что условие (2.5) выполняется при  $i > 5$ , следовательно, при длине последовательности  $i > 5$  увеличивается количество ошибок при воспроизведении запоминаемой информации. Объем оперативной памяти составляет в данном случае 5 сигналов.

Теперь рассмотрим особенности косвенных инженерно-психологических измерений в случае, если измеряемый показатель деятельности оператора представляет собой непрерывную случайную величину. Таким показателем возьмем длительность сохранения информации в оперативной памяти, определяемую длительностью следа памяти. Эксперимент по определению длительности следа памяти отличается от описанного выше (п.1) только тем, что предъявляемые для запоминания контрольные последовательности были фиксированной длины, равной 4, а время ожидания воспроизведения менялось от 0 до 120 с через каждые 30 с. В течение времени ожидания испытуемому также предъявлялись последовательности сигналов, ответы на которые не фиксировались экспериментатором. Это делалось для того, чтобы испытуемый не прибегал к долговременному запоминанию контрольных последовательностей путем многократного повторения их «про себя» в течение времени ожидания.

Результаты эксперимента и вычисленные значения  $\tilde{P}_\tau$  и  $\tilde{P}_\tau - \tilde{P}_9$  приведены в табл.12.

Таблица 12

Время $\tau_{ож}$ , мс	Значение величины				
	$m_\tau$	$N_\tau$	$P_\tau = m_\tau / N_\tau$	$\tilde{P}_\tau$	$\tilde{P}_\tau - \tilde{P}_9$
0	4	100	0.04	4.0	0
30	6	100	0.06	4.9	0.9
60	10	100	0.10	6.3	2.3
90	12	100	0.12	6.9	2.9
120	19	100	0.19	8.7	4.7

В данном примере вероятность ошибки при немедленном воспроизведении используется как эталон, т.е. при  $\tau_{ож} = 0$ . Анализ последней графы

табл. 12 показывает, что значимое увеличение вероятности ошибки наступает при  $\tau_{\text{ож}} = 90$  с, так как при этом  $\tilde{P}_\tau - \tilde{P}_9 = 2,9 > 2,33$ . Следовательно, длительность следа памяти в этом случае лежит в пределах 60 – 90 с, причем где-то недалеко от нижнего предела.

Чтобы увеличить точность измерений, можно взять меньший интервал дискретности и провести дополнительные исследования в интервале 60...90 с, взяв, например, шаг дискретности, равный 5 с. Точное значение  $\tau_{\text{сл}}$  без проведения дополнительных исследований можно получить по формулам (2.8) ÷ (2.12).

Анализ данных табл. 12 показывает, что зависимость (2.8) в данном случае аналогична (2.13) и имеет вид

$$P_\tau = 1 - 0,96e^{-0,001\tau}, \quad \text{т.е. величина } \gamma = 0,001.$$

Подставляя значение  $N=100$ ,  $P_9 = 0,04$ ,  $\gamma = 0,001$  и  $U = 1,64$  в формулу (2.16), получаем, что  $\tau_{\text{сл}} = 0,63$  с, которое представляет собой уточненное время сохранения информации в оперативной памяти человека при данных условиях.

### 1.2.5 Задачи для решения контрольной работы

11. Рассмотренный в контрольной работе №1 пример решения типовой задачи представляет собой измерение косвенным методом.

Объясните, что является здесь измеряемым показателем деятельности оператора, эталоном и индикатором измерений. Какая характеристика индикатора используется для проведения измерений?

12. В деятельности оператора могут возникать два способа запоминания информации. В одном случае необходимо запомнить в порядке поступления смысловое содержание сигналов (последовательности типа С), в другом – те знакоместа, на которых появляются сигналы (последовательности типа М). Для сравнения между собой способности к запоминанию обоих типов последовательностей был поставлен специальный эксперимент. Всего было предъявлено 484 последовательности типа С и 625 последовательностей типа М. Количество ошибок при воспроизведении последовательностей первого типа составило 58, второго – 94.

Способность к запоминанию какого типа последовательностей у операторов лучше?

13. Методом статистического моделирования исследовано влияние порога эмоционального напряжения на успешность решения задачи оператором. (Моделировалась задача посадки самолета на палубу авианосца). Порог напряженности обозначается символом  $M$ . Это значит, что оператор начинает работать медленнее и менее точно, когда за имеющееся у него время он должен сделать в  $M$  раз больше того, что он может сделать при работе со средней скоростью. Известно также, что как сильное, так и слабое напряже-

ние оказывают дезорганизирующее действие на работу оператора, максимальный уровень работоспособности наблюдается при напряжении некоторой степени. Результаты моделирования подтверждают это: наибольший успех (наименьшее количество неудачных посадок  $m$ ) имеет место при  $M = 2,3$ . Результаты моделирования следующие:

M	1,5	1,75	2,0	2,3	2,5	3,0	4,0	5,0
$m$	61	50	42	31	32	35	45	47

Общее количество реализаций в каждом случае  $N = 162$ .

Найти допустимую зону значений порога напряженности, при которых не происходит существенного увеличения количества ошибок по сравнению с уровнем оптимальной напряженности  $M = 2,3$ .

14. Проведено исследование влияния количества одновременно проверяемых оператором логических условий  $n_{л}$  на качество его работы, которое оценивалось вероятностью совершения им ошибки  $P_{ош}$ . Количество опытов в каждом случае равно 500. Результаты исследования следующие:

$n_{л}$	1	2	3	4	5
$P_{ош}$	0,004	0,004	0,006	0,022	0,084

Определить максимальное количество одновременно проверяемых оператором логических условий, при котором еще не ухудшается качество работы оператора.

15. С тремя операторами проводят исследование способности к запоминанию оперативной информации. Предъявленные последовательности сигналов они должны воспроизводить через некоторое время  $\tau_{ож}$ . При исследовании фиксируют количество неправильных ответов, по которому затем вычисляют вероятность неправильного ответа.

С каждым оператором при любом времени ожидания воспроизведения  $\tau_{ож}$  произведено  $N=225$  опытов. Значения вероятностей неправильного ответа приведены в табл. 13.

Таблица 13

Оператор	Значение вероятности неправильного ответа при $\tau_{ож}$ , с					
	0	15	30	45	60	75
1	0,02	0,06	0,09	0,11	0,15	0,17
2	0,07	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14
3	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,15

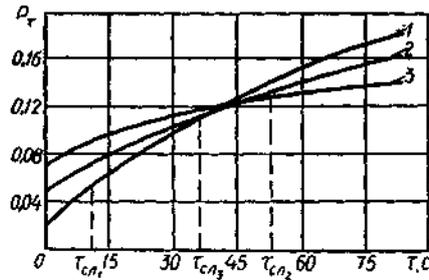


Рис. 3 - Кривые зависимости вероятности безошибочного воспроизведения от времени хранения информации для трех операторов:

$$1 - P_{\tau 1} = 1 - 0,98e^{-0,002\tau}; \quad 2 - P_{\tau 3} = 1 - 0,95e^{-0,0015\tau}; \quad 3 - P_{\tau 2} = 1 - 0,93e^{-0,001\tau}$$

Определить пределы длительности сохранения информации у каждого оператора. Чему равны уточненные значения длительности следа памяти, если для каждого оператора функция типа (2.13) имеют вид, показанный на рис. 3? Дать качественную характеристику способности к запоминанию и сохранению информации каждым оператором.

16. В работе проведено исследование влияния коэффициента загрузки оператора на качество его работы. Под коэффициентом загрузки понимается отношение времени, необходимого оператору для выполнения какой-либо работы, ко времени, установленному ему на это соответствующими нормативами. Полученная зависимость вероятности ошибки от коэффициента загрузки имеет вид параболы (рис.4) и описывается выражением  $P_{ош} = aK_3^2 + bK_3 + c$ .

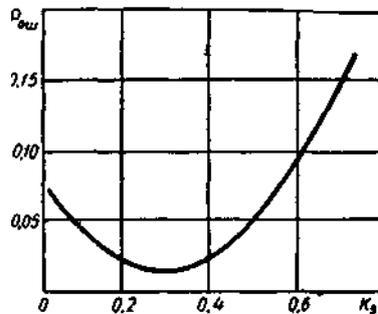


Рис.4 – Кривая зависимости вероятности ошибок оператора от коэффициента загрузки

Найти выражение типа (2.12) для определения максимально допустимого значения коэффициента загрузки, при котором не происходит значимое увеличение количества ошибок в работе оператора.

17. Информационная перегрузка и ее недогрузка оказывают отрицательное влияние на оператора.

Найти допустимый диапазон изменения коэффициента загрузки, в котором не наблюдается значимое увеличение количества ошибок по сравнению с оптимальным значением  $K_3$ , если зависимость  $P_{ош} = \varphi(K_3)$  имеет вид

$$P_{ош} = 0,88K_3^2 - 0,52K_3 + 0,09. \quad (2.17)$$

18. Лаборатория научной организации труда завода радиоаппаратуры решила определить допустимую скорость движения конвейера, при которой не возникает еще заметное перенапряжение у работающих на конвейере. В качестве индикатора возникновения перенапряжения использована пневмограмма (запись кривой дыхания): известно, что в напряженных условиях происходит укорочение фазы выдоха относительно вдоха.

Чтобы определить допустимую скорость движения конвейера, был проведен специальный эксперимент. Десять испытуемых выполняли определенную работу при различной скорости движения конвейера. В процессе работы у всех испытуемых снималась пневмограмма. После ее анализа определялось отношение  $\nu$  продолжительности фазы выдоха к фазе вдоха (табл. 14).

Таблица 14

V, см/мин	Значение $\nu$ для испытуемого									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1,11	0,95	0,96	1,04	1,08	0,90	0,85	1,09	0,96	0,97
10	1,18	0,90	0,92	1,00	1,05	0,85	0,79	1,07	0,92	0,92
20	1,06	0,86	0,89	1,01	1,02	0,78	0,73	1,01	0,87	0,82
30	1,02	0,83	0,83	0,99	0,99	0,72	0,71	0,97	0,83	0,78

Пользуясь данными табл. 14, найти, в каком диапазоне лежит искомое значение скорости движения конвейера. Построив аналитическую зависимость  $\nu = \varphi(V)$ , найти более точное значение допустимой скорости движения конвейера.

19. В результате экспериментального исследования зависимость вероятности ошибки оператором от количества  $n$  сигналов, одновременно требующих внимания оператора, имеет вид

$$P_{\text{ош}} = 0,01(0,245n + 0,781)$$

Найти допустимое значение количества сигналов, при котором еще не происходит значимое увеличение количества ошибок, если приведенная выше зависимость  $P_{\text{ош}} = f(n)$  построена по результатам испытаний  $N=25$  операторов.

20. Получена аналитическая зависимость вероятности совершения ошибки оператором от скорости потока поступающей к нему информации. Дальнейшие исследования позволили уточнить эту зависимость и получить ее в виде

$$P_F = 0,01 + 0,01F^{1,8} \text{ при } F > 0,5,$$

где:  $F$  – скорость поступления информации, дв.ед./с. Зависимость  $P_F = \varphi(F)$  получена в результате испытаний  $N = 50$  операторов.

Определить среднюю пропускную способность оператора, под которой понимается максимальная скорость поступления информации, не вызывающая еще существенного увеличения количества ошибок в работе оператора.

## 2 Методические указания к выполнению работы №2

### 2.1 Цель выполнения контрольной работы

Приобретение практических навыков эргономического и художественно – конструкторского проектирования лицевой панели управления радио-электронной аппаратуры.

### 2.2 Методические указания

Высокие потребительские свойства РЭС определяются не только его техническими (тактико-техническими) характеристиками, но и эргономичностью его внешних элементов, их художественно – конструкторским решением, эстетической выразительностью формы изделия и т.д.

Лицевая панель является своеобразной «визитной карточкой» РЭС объекта управления и одновременно – объектом информационного и эстетического восприятия.

Основополагающим принципом художественного конструирования лицевой панели является её структурирование, т.е. формирование сенсорного поля (зоны индикации), моторного поля (зоны управления), зоны подсоединения к внешним устройствам (зоны коммутации).

Работа включает в себя практическое выполнение студентом индивидуального варианта из списка заданий, приведенных в конце методического пособия. Список содержит 20 вариантов, в каждом из которых перечислены элементы, составляющие структуру лицевой панели, т.е. перечислены те элементы, которые должны быть расположены на лицевой панели устройства. Состав структуры установочных элементов лицевой панели содержит три группы: индикаторы, органы управления и различные вспомогательные, присоединительные и прочие элементы (клеммы, гнезда, колодки и т.п.), обеспечивающие функционирование устройства данного назначения. Для определенности в каждой группе указаны позиционные обозначения элементов, типы индикаторов, названия, количество и обозначения фиксированных положений органов управления и элементов коммутации. Во втором столбце каждого варианта задания указаны назначение и цель работы каждого устройства, что позволяет сформулировать наименование данного устройства и предусмотреть его выполнение на лицевой панели в виде шильдика или посредством трафаретной печати (допускается сокращенное обозначение).

Работа должна быть представлена студентом в виде черно-белого (или цветного) изображения лицевой панели на бумаге формата А4 в альбомном исполнении с размещенными на ней, согласно варианту задания, установочными элементами. Обязательным в выполнении работы является представление результатов в электронном виде (файл в любом графическом формате COREL DRO, AUTOCAD, 3DMAX, КОМПАС и т.д.). Спроектированная лицевая панель на формате А4 не сопровождается угловой надписью чертежа и не проставляются размерные отношения. Рядом с изображением лицевой панели в правом верхнем углу должны быть указаны фамилия и группа сту-

дента, а также номер выполненного варианта задания. Возле каждого установочного элемента на лицевой панели обязательно должно быть текстовое сопровождение, с указанием назначения этих элементов, обозначения позиций разных переключателей, кнопок, гнезд и т.д. Шрифт надписей: только прописными буквами, допускается любое их сокращение, исходя из композиционного решения.

При выполнении работы №2 допускается представлять несколько примеров решения композиции лицевой панели одного и того же варианта.

Исходя из опыта проектирования лицевых панелей РЭС, следует оговориться, что нельзя дать готовых «рецептов», как сделать то или иное решение художественно совершенным, и жесткие рекомендации здесь недопустимы. Поэтому укажем только обоснованную последовательность работ при художественном конструировании и эргономической отработке лицевых панелей управления (ЛПУ).

Последовательность работ при художественном конструировании ЛПУ включает:

- Анализ исходных данных проектирования и подбор комплектующих элементов;
- Структурирование ЛПУ;
- Эргономическое обеспечение ЛПУ;
- Композиционную отработку ЛПУ;
- Цветовую проработку;
- Выбор варианта декоративного решения ЛПУ.

### **2.2.1 Анализ исходных данных для компоновки ЛПУ**

Художественно – конструкторская разработка ЛПУ возможна только после решения таких вопросов, как:

- Распределение функций между человеком и РЭС;
- Согласование информационного потока сигналов с реальной информационной пропускной способностью человека;
- Выбор физического алфавита сигналов и их параметров и т.д.

После этого подбирают конкретные типы информационно - управляющих элементов (комплектующих панели) с учетом конкретных условий эксплуатации. Выбор комплектующих должен производиться комплексно по соответствующим конструктивным, электро- и светотехническим или другим характеристикам.

В связи с отсутствием конкретного технического задания (ТЗ) на выполнение контрольной работы по художественному конструированию ЛПУ, где как раз и должны быть сформулированы вышеперечисленные требования к характеристикам элементов ЛПУ и условия эксплуатации РЭС, при выполнении контрольной работы основное внимание обращается на композиционное решение ЛПУ. Таким образом, в нашем случае проектировщику ЛПУ предоставляется широкий простор для выбора формы, типа, вида, конструкции и т.п. установочных элементов, указанных в соответствующем варианте задания. Такой подход в решении контрольной работы позволяет сту-

денту проявить максимальные возможности понимания задач художественного конструирования и методики компонования ЛПУ для достижения основного требования дизайна – создания высокохудожественного решения ЛПУ, отличающегося высокой степенью выразительности и гармоничностью.

Следуя теоретическим положениям дизайна, технической эстетики, художественного конструирования, теории композиции при проектировании лицевых панелей, необходимо соблюдать требования по масштабному и стилевому соответствию внешних установочных элементов индикаторов и органов управления, так как невыполнение этих требований отрицательно скажется на художественно – выразительном облике всего изделия. При подборе элементов ЛПУ или их оригинальном самостоятельном проектировании необходимо оценивать возможности их визуально – композиционной сочетаемости и формально – стилистического единства.

При выборе средств отображения информации следует обратить внимание на существующие разновидности индикаторов. Индикаторы могут быть:

- Шкальные;
- Жидкокристаллические;
- Люминесцентные;
- Электроннолучевые;
- Накальные;
- Газоразрядные и т.д.

При выборе органов управления (ОУ) основные требования диктуются необходимостью обеспечения высокой надежности, точности и скорости оперативной деятельности оператора. Это зависит не только от особенностей исполнительных механизмов ОУ, но и в большой степени от удобства сенсомоторной части внешнего установочного элемента, т.е. кнопок, клавиш, ручек или рукояток управления.

Современная тенденция микроминиатюризации РЭС иногда некритически переносится на ЛПУ и ее информационно – управляющие элементы. Это вступает в серьезное противоречие с требованиями антропометрии человека и его психофизиологическими характеристиками. Поэтому нельзя бесконечно уменьшать размеры информационных знаков, а также кнопок и ручек органов управления.

Органы управления на ЛПУ должны быть легко различимы визуально или тактильно, кроме того, в их конструкции должны быть заложены рациональные усилия переключения, углы поворота, размеры, связанные с антропометрией руки, и высокие эстетические качества.

Как правило, панели ЛПУ и ОУ решаются в резком контрасте по цвету, фактуре, пластическому решению и материалу.

Органы управления для РЭС по характеру прилагаемых к ним рабочих усилий и конструктивным особенностям внешних установочных элементов делятся на несколько основных типов:

- Кнопки и клавиши;
- Рычажные переключатели (тумблеры);
- Поворотные переключатели и выключатели;
- Ручки плавной настройки;
- Маховики (для плавного динамического регулирования с большой точностью при больших сопротивлениях перемещений).

В связи с большой информационной насыщенностью ЛПУ современных РЭС имеется тенденция конструирования органов управления, совмещенных с индикаторами. Например, клавиши с подсветкой, кнопки с встроенным светодиодом, переключатель со шкалой и т.д.

При выполнении контрольной работы не запрещается использовать оригинальную форму ОУ, разработанную самостоятельно и композиционно обеспечивающую гармоничность восприятия всей ЛПУ.

### 2.2.2 Структурирование лицевой панели управления

Основопологающим принципом организации ЛПУ является расчленение её на три функциональные зоны:

- Индикации;
- Управления;
- Коммутации.

Расположение зон, подчиняясь эргономической закономерности, варьируется в зависимости:

- От насыщенности каждой зоны элементами;
- От ориентации элементов в пространстве;
- От соотношения сторон панели, т.е. от конкретного конструктивного варианта исполнения РЭС.

Число элементов индикации, коммутации и управления на ЛПУ РЭС может быть различным, но все они являются источниками информации. Известно, что психологические возможности человека по восприятию информации ограничены. Часто называют число одновременно успешно контролируемых человеком информационных объектов, которое не превышает  $7 \pm 2$  (ограничение объема оперативной памяти).

Учитывая это, а также свойство структурности восприятия, целесообразно производить предварительную группировку элементов ЛПУ, а затем размещение их по функциональным зонам. За счет этого происходит укрупнение единицы информации, облегчается ее восприятие, сокращается общее время регулирования, повышается надежность работы оператора.

Можно выделить три основных принципа структурирования ЛПУ:

- Группировки;
- Взаимосвязи;
- Приоритета.

Принцип группировки включает следующее. При количестве установочных элементов на ЛПУ свыше 20...30 их следует разбивать на несколько

визуальных отличных групп. Группировка информационно – управляющих элементов может осуществляться на логическом и формальном уровнях.

По логическому признаку объединению в функциональные группы подлежат элементы ЛПУ, связанные между собой:

- По общности выполняемых задач, функций и т.п.;
- По принадлежности к соответствующему обслуживаемому комплексу, системе, объекту и т.д.;
- По каналам и т.д.

Если подобное объединение невозможно, то элементы ЛПУ объединяются в функциональные группы по формальному признаку, т.е. по внешней однотипности элементов:

- Группа клавиш;
- Группа кнопок;
- Группа лампочек;
- Группа индикаторов;
- Группа разъемов, клемм и т.д.

С позиций более эффективной работы оператора, лучшей его ориентации и более быстрого освоения ЛПУ логический принцип ценнее формального.

Принцип взаимосвязи имеет две стороны:

- Одна связана с функциональными взаимосвязями между органами управления и индикаторами внутри функциональной группы;
- Другая учитывает взаимосвязь этих элементов и функциональных групп с позиций последовательности их использования в процессе работы.

В большинстве случаев изменение положения органа управления должно отражаться на соответствующем индикаторе. При этом соблюдается следующее правило. Увеличению параметра на индикаторе должно соответствовать движение органа управления вверх, вправо или по ходу часовой стрелки. Это принцип так называемого совмещения стимула и реакции. В этом случае связанные органы управления и информации рекомендуется располагать в одной плоскости.

Для правильного и удобного размещения элементов и функциональных групп на ЛПУ надо учитывать алгоритм работы оператора с ЛПУ.

Принцип приоритета учитывает функциональную важность и значимость информационно – управляющих элементов и функциональных групп на ЛПУ.

Установление приоритета может осуществляться:

- По оперативной значимости показаний индикаторов либо степени воздействия органа управления на работу системы в целом;
- По требуемой точности считывания показаний с индикатора либо регулировочных операций органа управления;
- По частоте обращения к элементу управления или индикации в процессе работы.

Элементы и функциональные группы, получившие приоритет, размещаются в зонах, где имеются наилучшие условия для их восприятия и досягаемости.

Рассмотренные принципы не могут считаться абсолютными, зачастую они вступают в противоречие друг с другом. Однако их учет необходим в процессе работы над компонованием лицевой панели управления.

Помимо указанных принципов, существуют еще и композиционные принципы, которые также способствуют лучшей организации лицевой панели, но уже с эстетических позиций её восприятия.

После объединения информационно – управляющих элементов ЛПУ в функциональные группы, выявления взаимосвязи и приоритета между ними предварительно схематично намечается размещение основных функциональных зон на ЛПУ. Учитывая асимметрию человеческого организма, зона индикации должна смещаться влево, а зона управления – вправо. Зону коммутации предпочтительно оставлять в горизонтальном ряду снизу лицевой панели.

При большом количестве индикаторов, т.е. насыщенной зоне индикации, её целесообразно развивать, используя всю верхнюю часть ЛПУ по горизонтали, или же занимать всю левую часть панели.

### **2.2.3 Эргономическое обеспечение лицевой панели**

Эргономическое обеспечение ЛПУ сводится к нахождению такого оптимального варианта размещения всех комплектующих элементов ЛПУ, которое гарантирует оптимальный прием и переработку поступающей информации и обеспечивает максимальное удобство оперативного обслуживания оператором.

Особенности учета антропометрических параметров человека в процессе проектирования ЛПУ проявляются в правильном выборе размеров внешних установочных элементов органов управления и расстоянием между соседними органами управления на панели.

Структурирование и зональный принцип компоновки ЛПУ, что является, собственно, основным в выполнении контрольной работы, позволяет условно говорить о формировании в процессе разработки ЛПУ информационного, коммутационного и моторного полей на плоскости ЛПУ. Каждое из них и все они вместе формируют для оператора информативное поле ЛПУ. Таким образом, в общем случае информационными элементами ЛПУ, к которым применим эргономический подход и требования эргономического обеспечения, являются:

- Ручки органов управления;
- Лицевые части средств отображения информации;
- Элементы информационного обеспечения, поясняющие значения сигналов индикаторов, регулировок органов управления, подключений, принадлежность к фирме (надписи, графические знаки и т.п.);
- Элементы внешней коммутации (разъемы, гнезда, клеммы);

- Конструктивные детали (приборные ручки, крепеж и т.п.);
- Вспомогательные (предохранители и др.) и декоративные элементы (шильдики, накладки, планки с надписями и т.п.).

Практические рекомендации по расположению информационных элементов ЛПУ, учитывающие эргономическое обеспечение ЛПУ и правильное выполнение контрольной работы, заключаются в следующем:

- Основные индикаторы располагать в пределах оптимальной зоны видения;
- Под зону индикации предпочтительно оставлять верхнюю часть ЛПУ с тенденцией левого смещения;
- Если смена информации на индикаторах происходит часто, их предпочтительнее размещать левее (увеличивается вероятность обнаружения сигнала);
- Если требуется высокая скорость и точность считывания информации, то индикаторы надо размещать в центре ЛПУ или правее;
- Если на одной ЛПУ имеются и стрелочно – шкальные индикаторы, и индикаторы подсветки, то первые надо размещать правее, вторые – левее;
- При использовании шкальных устройств индикации надо стремиться к единой форме шкал, горизонтальному их расположению и единообразной ориентировке начала отсчета. Рекомендуется использовать для горизонтальных рядов «девятчасовую», а для вертикальных – «двенадцатчасовую» нулевую отметку шкалы;
- Количество индикаторов в одном ряду должно учитывать психофизиологический предел восприятия ( $7 \pm 2$ ).

Основные требования к надписям на ЛПУ:

- Надписи должны располагаться по горизонтали и читаться слева – направо;
- Должны быть лаконичными, краткими, с допустимыми сокращениями;
- Должны легко читаться на расстоянии зон досягаемости;
- Выполняться прямым шрифтом прописными знаками;
- Не допускать разнообразия каллиграфического исполнения.

Формирование моторного поля ЛПУ (расположение органов управления) во многом определяется особенностями информационного поля, но имеются также и принципиальные соображения:

- Функционально связанные органы управления и органы отображения информации должны располагаться вблизи друг друга. Как правило, органы управления располагаются снизу или справа относительно индикатора;
- Предпочтительным является расположение кнопок, клавиш, тумблеров в горизонтальном ряду. В исключительных случаях допускается вертикальное расположение, при этом промежутки между краями клавиш - не менее 10 мм.

Итак, перечислим наиболее важные и общие соображения, которыми необходимо руководствоваться при выполнении контрольной работы при размещении установочных элементов на лицевой панели РЭС:

- Предпочтительна рядная расстановка любых компонентов панели. Для этой цели удобно вводить специальную координатную сетку с шагом 20 мм;
- Лампочку и тумблер (или клавишу с подсветкой), относящиеся к включению сети, следует располагать вне оперативной рабочей зоны. Это же касается и всех вспомогательных элементов ЛПУ;
- На лицевой панели не должно быть ничего лишнего, не несущего информацию оператору. По возможности надо использовать такие элементы, которые не имели бы видимых снаружи крепежных деталей (рекомендуется применять фальшпанели);
- Элементы коммутации следует устанавливать в основном по нижнему краю лицевой панели.

#### **2.2.4 Композиционная отработка лицевой панели**

Необходимо сознавать, что лицевая панель любого прибора является не только информационным элементом, орудием управления человека - оператора, но и объектом эстетического восприятия. Для достижения художественно – эстетического совершенства требуется применение специальных художественных средств, которые рассматриваются в лекционной части курса.

Художественно – конструкторская отработка ЛПУ влияет на степень внимания оператора. А от уровня внимания зависят чувствительность анализаторов, величина поля зрения, продуктивность запоминания, скорость двигательных реакций и др. характеристики человека.

Поэтому организацию сигналов, информационно – управляющих элементов на ЛПУ за счет цвета, яркости, размера следует выполнять так, чтобы повысить эффективность деятельности оператора.

Решение задач художественной композиции и цветовой проработки лицевой панели должно осуществляться не за счет снижения эргономичности или ухудшения технологичности прибора, а, напротив, путем их улучшения на завершающих этапах проектирования.

При композиционной отработке ЛПУ следует учитывать особенности нашего восприятия и использовать это в соответствующих средствах композиции, применяемых в работе над ЛПУ.

Перечислим некоторые закономерности зрительного восприятия:

- Зрительное восприятие происходит в направлении:
  - от больших по размеру элементов к меньшим;
  - от более контрастных к фону и насыщенным по цвету элементов композиции к менее контрастным и насыщенным;
  - от сгущенных к разряженным областям композиции;
  - по контуру к динамическим осям элементов композиции (динамическая ось – направление деформации фигур, тел, поверхностей).

- Свойство структурности человеческого восприятия, связанное с последовательным разворачиванием признаков, перекодировкой и укрупнением единиц информации, проявляется в том, что наша зрительная система группирует элементы композиции:

- по размерам;
- по форме;
- по контрасту, цвету, фактуре;
- по плотности расположения;
- по направлению главных динамических осей.

- Движение глаз по наклонным направлениям осуществляется медленнее и менее точно, чем по горизонтали и вертикали.

Если элементы ЛПУ имеют сложную структуру, разбросаны по воспринимаемому полю, различаются по форме, то размещение их на модульной основе (по сетке) создает некоторое единство, что сокращает время поиска нужного прибора на ЛПУ или сигнала. Однако, будучи абстрактным выразителем порядка, модульная сетка может сделать композицию монотонной, лишит ее выразительности. Поэтому нельзя сводить композиционное построение элементов ЛПУ лишь к формальному использованию метода модульной координации и забывать о таких активизирующих внимание средствах композиции, как контраст, цвет, ритм и др.

Одним из средств устранения монотонности на ЛПУ является асимметричное расположение элементов на лицевой панели. Если симметричная композиция создает ощущение компактности и подчеркивает статичность построения, то асимметрия придает динамический характер, что иногда является важным моментом с целью управления вниманием оператора.

Динамичность асимметричной композиции обычно возникает за счет неравенства величин и форм комплектующих ЛПУ элементов и их неравномерного распределения относительно осей координат и др. Во всех случаях движение «направлено» в сторону наиболее «активного» (резко выделяющегося из окружающих) элемента. Однако при этом должно сохраняться «зрительное равновесие» масс.

Чтобы асимметричная композиция не представляла собой хаотичного нагромождения различных форм, их надо согласовывать по какой-либо пропорциональной системе: арифметической (по модулю), геометрической (по подобию), «золотому сечению» и др.

Организуя композицию ЛПУ с учетом свойств динамичности, нужно добиваться, чтобы направление восприятия осуществлялось от краев к центру панели.

На ЛПУ с симметричным расположением главных элементов композиции (элементов больших размеров, контрастов и цветовой насыщенности) второстепенные элементы необходимо размещать симметрично относительно главных.

В РЭА часто возникает задача размещения большого числа сходных по форме, размерам элементов (сигнальные лампочки, клавиши, табло, приборы

и т.д.). В теории композиции известно два вида закономерной повторяемости: метрическая и ритмическая.

Наиболее интересные композиционные возможности дает применение ритма. Он предполагает закономерное изменение либо расстояний между элементами, либо их числа в группах, либо свето – цветовых отношений. Ритмическое построение и акцентирование осуществляются легче, если число элементов в ряду нечетное. Ритмический ряд должен быть завершен и слева, и справа применением различных приемов, например включением в крайние группы новых элементов, увеличением интервалов между крайними группами и др.

Одним из сложных вопросов композиционного построения является вопрос масштабного соответствия и масштабной соразмерности изделий. Прежде всего, масштабность обеспечивается за счет соразмерности изделия, его частей и элементов по отношению к человеку, которая базируется на данных антропометрии. Также она проявляется через масштабность изделия по отношению к предметному окружению интерьера или комплексу оборудования, в состав которого оно входит. Наконец, она определяется внутренней композиционной масштабностью элементов изделия между собой, между элементами и частями изделия, а также между ними и изделием в целом.

Усиление эстетических свойств композиции можно произвести использованием мощных средств – контраста и нюанса. Они, как правило, присутствуют одновременно в композиционном решении ЛПУ, придавая особую выразительность композиции в целом. Контраст проявляется в размерах, фактуре, яркости, цвете элементов ЛПУ и т.п. Нюанс (незначительное изменение признака) дополняет контраст и придает композиции в целом мягкость восприятия формы.

Проанализируем основополагающие принципы композиционного построения, соблюдение которых обязательно для каждой композиции (в нашем случае лицевая панель прибора).

Композиция должна строиться таким образом, чтобы в отдельных ее элементах был различим признак целого, чтобы большое повторялось в малом. Этот принцип носит название принципа повторяемости. Среди многих признаков композиции должен быть хотя бы один такой, который, во-первых, присущ всем элементам и, во-вторых, является характерным для композиции в целом.

Например, если для композиции в целом характерны прямолинейные очертания, то и отдельные элементы должны быть очерчены строго прямыми линиями. И наоборот, если основные очертания прибора плавные и округлые, то это должно также находить отражение в отдельных составляющих и частях изделия.

Часто ведущим признаком является геометрическое подобие элементов, частей и целого всей конструкции. Это выявляется совпадением или параллельностью динамических осей главных и второстепенных элементов и способствует впечатлению целостности композиции, что, как мы уже отмечали, и является основной задачей художественного конструирования.

При всем этом надо учесть, что при наличии общих признаков для большинства элементов они не должны быть слишком схожими между собой, т.к. это приводит к монотонности и лишает композицию художественной выразительности.

Все элементы композиции должны быть упорядочены относительно композиционного центра (отправного пункта в маршруте восприятия формы). Принцип соподчиненности осуществляет упорядочение по признаку, который в разных элементах выражен с разной силой. То есть соподчиненность основана не на сходстве, а на различии свойств элементов. Причем это различие должно быть достаточно явным и легко воспринимаемым.

Важно найти оптимальное соотношение между главными и второстепенными элементами композиции.

Созданию определенной иерархии зон внимания способствует целенаправленное использование различных средств композиции и акцентировки: таких как пропорционирование, масштаб, ритм, контраст, светотень, фактура и др. В применении каждого средства композиции надо находить ту самую «золотую серединку», которая и наделяет проектируемое изделие высокими эстетическими качествами, отличающими его от аналогичных изделий по применению.

Важным в теории композиции является наличие ядра композиции проектируемого устройства, чаще всего им является смысловой центр изделия. Наиболее простыми способами выявления ядра (центра) композиции являются:

- членение рабочего поля таким образом, чтобы центр композиции являлся ее главным элементом;

- центральное расположение ядра композиции, особенно при небольших размерах элементов;

- выбор простой формы главного элемента центра композиции при усложненности окружающих, или, наоборот, некоторая его усложненность при простоте окружающих элементов;

- компоновка деталей в определенной ритмической последовательности, направляющей маршрут восприятия и выделяющей центр композиции;

- выделение центра композиции цветом, размером и т.п.

При выборе определенной системы пропорционирования соразмерность частей и целого в ЛПУ обеспечивается отношениями линейных отрезков, подобных геометрических фигур и пространственных тел. Соразмерность может базироваться на различных системах пропорционирования.

Соразмерность обычно выявляется не сразу, требует тщательного анализа, но, будучи выявленной, облегчает восприятие композиции и делает ее более активной. Наоборот, рассогласование, неупорядоченность, бессвязность в размерах частей изделия тонко улавливается глазом и вызывает психологическое раздражение, неудовлетворительное эстетическое восприятие.

Впечатление композиционной завершенности базируется на зрительном равновесии относительно равномерной «загруженности» лицевой панели элементами. Это зависит от визуальной массы (размера, цвета, геометрической сложности), местоположения и направленности каждого из составляю-

щих элементов. Особенно остро этот вопрос стоит для случаев асимметричных композиций.

Принцип равновесия требует, чтобы все части композиции и само целое были бы уравновешены относительно пространственных осей. Надо помнить, что вертикальная и горизонтальная оси неравноценны. Главную роль в композиции играет вертикальная ось (вследствие действия сил гравитации).

Равновесие оценивается не только относительно осей. Но и относительно композиционного центра. Очень важным является правильное согласование композиционного центра с центром тяжести изделия. Иначе конструкция может показаться зрительно неустойчивой, неуравновешенной. Второстепенные элементы следует размещать на динамических осях главного по отношению к ним элемента.

Для создания уравновешенной композиции необходимо учитывать особенности восприятия массы. В зависимости от соотношения размеров элемента по трем координатам максимальной массой будут обладать те, у которых размеры по всем координатам приближаются к равенству (куб, шар и т.п.). Минимальная масса будет у элементов, близких к линейным. Причем вертикальные формы воспринимаются более тяжелыми, чем горизонтальные и наклонные. Кроме того, масса зависит от положения этого элемента в композиции; она возрастает пропорционально расстоянию от центра композиции.

Придерживаясь принципа соподчиненности, соразмерности, повторяемости и равновесия, органично сочетая их с функционально - конструктивным построением изделия в целом можно добиться единства стилового решения.

Принцип единства является как бы суммирующим, итоговым. Стиль проявляется в устойчивых признаках формы, характеризующих сложившуюся общность средств и приемов художественной выразительности. Современный стиль в оформлении РЭС основывается на простоте и лаконизме форм, отсутствии элементов сложной конфигурации. Единое стиловое решение ЛПУ достигается за счет:

- единого способа декоративного оформления внешних конструктивных деталей;
- единой технологии нанесения покрытий и надписей;
- единой системы графических символов, обрамлений;
- однотипности комплектующих элементов, определенной цветовой гаммы окраски, фактуры материала и т.д.

Единство стилового решения, выполнение вышеперечисленных принципов обуславливает собой целостность и информативность композиции, без которых немислимо гармоническое решение лицевой панели управления.

### 2.2.5 Цветофактурная проработка лицевой панели

Художественно – конструкторский уровень РЭС во многом зависит от качества поверхностей материалов и покрытий формообразующих элементов конструкций, в том числе и от качества лицевой панели изделия. К декоративным свойствам, определяющим внешний вид изделия, относятся фактура, текстура и цвет.

Для современных РЭС, характеризующихся лаконизмом геометрической формы, особое значение приобретают вопросы внешней отделки и обработки поверхности, гармоничности цветового решения.

Разработку цветового и фактурного решения и правильный выбор декоративных материалов и покрытий можно осуществить лишь при учете комплекса требований, предъявляемых к изделию, а именно: эксплуатационных, эргономических, эстетических, технологических и т.п.

Выбор цветового решения ЛПУ, зоны сосредоточения основного внимания оператора, должен основываться на следующих принципах:

- функциональной целесообразности применения цвета;
- цветовой гармонии;
- достижения композиционной целостности панели, прибора, комплексов и систем оборудования.

Кроме того, подбор цвета ЛПУ должен производиться с учетом особенностей психофизиологического воздействия их на человека и объективных условий восприятия.

При использовании цветового зонирования ЛПУ, а также при поиске цветового решения индикаторов (фона шкалы, цвета подсветки), внешних установочных элементов органов управления и коммутации необходимо помнить о роли цвета как средства кодирования (информации) и средстве композиции. Правильно подобранные цвета стимулируют внимание, вызывают положительные эмоции, компенсируют или снижают зрительное утомление, которое сказывается на остроте зрения, скорости восприятия, контрастной чувствительности и др.

Каждый цвет обычно определяют тремя характеристиками:

- цветовым тоном;
- насыщенностью;
- светлотой.

Они в основном и определяют характер и степень психофизиологического воздействия на человека. Следует заметить, что наиболее отчетливо проявляется влияние того или иного цвета при его максимальной насыщенности.

Эмоциональное воздействие цветов связано не только с характером психофизиологического влияния, но и, в частности, с символикой цвета, индивидуальным опытом человека и т.д. В деятельности оператора, характеризующейся высокой рациональностью, целеустремленностью и ответственностью, резко снижено влияние обычных ассоциаций, по-иному оцениваются и эстетические критерии.

При выборе цветового решения ЛПУ необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации РЭС:

- особенность освещения рабочего места;
- дальность и ракурс наблюдения;
- цветовое окружение (т.е. цвет собственного кожуха, шкафа, стойки, комплекса оборудования, интерьера помещения и т.д.).

Для окраски ЛПУ стремятся брать тона из группы физиологически оптимальных. К ним относятся цвета средневолновой части спектра малой насыщенности (не более 40%) и относительно большого коэффициента отражения (50...70%). Их всего 27 оттенков: оранжевый, желтый, желто-зеленый, зеленый, зелено-голубой, голубой, сине-голубой и др.

Наиболее общим соображением при составлении цветовых схем является достижение одинаковой привлекательности всех цветов. Для этого более ярким и насыщенным цветам отводят меньшую площадь, менее ярким – большую, чтобы суммарный эффект при восприятии был выровнен. Стараясь не применять на больших поверхностях мрачные темные тона, которые поглощают свет и оказывают отрицательное эмоциональное воздействие.

На эмоциональное состояние человека и его эстетическое восприятие влияют не только отдельные цвета, но и их комбинации и сочетания. Они могут быть гармоничными, вызывающими приятные ощущения, и дисгармоничными, вызывающими неприятные чувства.

Принцип цветовой гармонии является одним из основных, обеспечивающих композиционную целостность формы. Для ее достижения необходимо использовать цвет, учитывая его основные характеристики (цветовой тон, насыщенность и светлоту) и определенные сочетания.

В основе систематизации цветов, как известно, лежит цветовой круг.

Сочетания цветов могут строиться по схеме трех основных гармоний:

- контрастной гармонии, основанной на сочетании взаимно противоположных цветов на цветовом круге, например красного и зеленого, оранжевого и синего и т.п.

- нюансной гармонии, основанной на сочетании соседних или близко расположенных тонов на цветовом круге; для одинаковых цветов, обладающих разной насыщенностью, например зеленого и сине-зеленого, желтого и оранжевого и т.п.

- гармонии «цветовой триады», основанной на сочетании трех цветов, равноотстоящих на цветовом круге, например красного, синего и желтого.

Для гармонизации цветовых сочетаний необходимо наличие между цветовыми компонентами определенной взаимосвязи (контраст или сходство по цветовому тону, светлоте или насыщенности). Общность по тону дает более положительный результат в гармоничности при изменении насыщенности или светлоты.

Существует три схемы эквитональности сочетаний:

- одного тона и равной насыщенности, но разной светлоты;
- одного тона и равной светлоты, но разной насыщенности;
- одного тона, но разной светлоты и насыщенности.

Получаются гармоничные сочетания хроматических и ахроматических цветов при равной и различной светлоте. Особенным положительным эффектом обладают сочетания теплых тонов с черным, а холодных – с белым.

При цветовом решении ЛПУ часто отмечается целесообразность использования контрастов, хотя длительное восприятие таких ЛПУ вызывает чрезмерное напряжение и утомление зрительного анализатора. Однако отсутствие контрастов действует усыпляюще, расслабляя внимание оператора.

В последнее время часто используемый темно-серый (асфальтовый) цвет панелей приборов имеет под собой реальную основу: высвечиваемая информация, для которой находят широкое применение люминесцентные, оптоэлектронные, светоизлучающие индикаторы, требует темного фона.

Количество цветов для окраски ЛПУ следует ограничивать. Для выделения группы элементов, зонирования, композиционного уравнивания рекомендуется двух-трехцветная окраска.

Чтобы не дезорганизовать внимание оператора, количество цветов ручек управления на лицевой панели должно быть минимальным и не превышать двух-трех цветов. Цвет внешних установочных элементов должен подчиняться общей цветовой гамме прибора, рекомендуется использовать черный, белый, коричневый цвета, а предпочтительнее – серый.

Приведенные положения дают лишь некоторые из основных приемов согласования цветов, это связано с тем, что цветовая гармония – очень сложное явление, зависящее от многих обстоятельств.

### **2.3 Рекомендуемый порядок выполнения контрольной работы**

2.3.1 Подобрать комплектующие элементы индикации, регулировки и подсоединения, указанные в соответствующем варианте задания. Допускается самостоятельное оригинальное решение их формы и конструкции.

2.3.2 Выполнить размещение установочных элементов на поле проектируемой лицевой панели, руководствуясь принципами и положениями художественного конструирования и теорией композиции в технике. Выполнить компоновочный чертеж ЛПУ с детальной проработкой расположения и формы всех элементов и надписей (формат бумаги А4, вид спереди, масштаб 1:1). При размещении целесообразно пользоваться модульной сеткой.

2.3.3 Выполнить окончательный вариант чертежа лицевой панели, который будет представлен на проверку. На ней обязательно должно быть нанесено наименование прибора, обозначение всех индикаторов, органов управления, положений переключателей, элементов коммутации и вспомогательных элементов. Шрифт надписей прямой, прописными буквами. Все линии и изображение в целом должны быть выполнены с применением чертежных приспособлений или графических редакторов ЭВМ. Рекомендуется представление окончательного решения ЛПУ в цвете, что дает право на повышенную оценку.

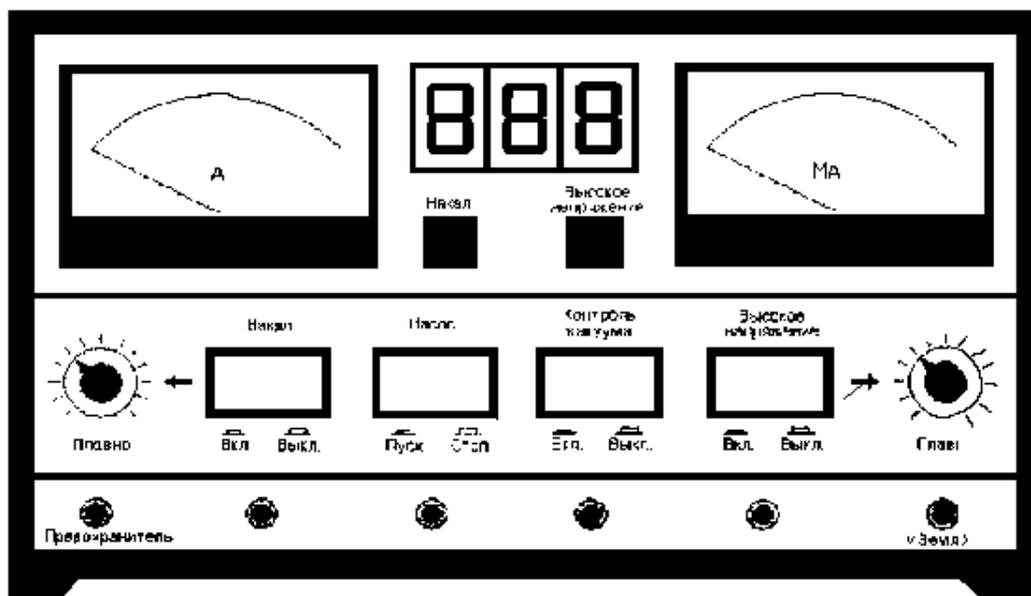
## 2.4 Факторы, учитываемые при оценке контрольной работы

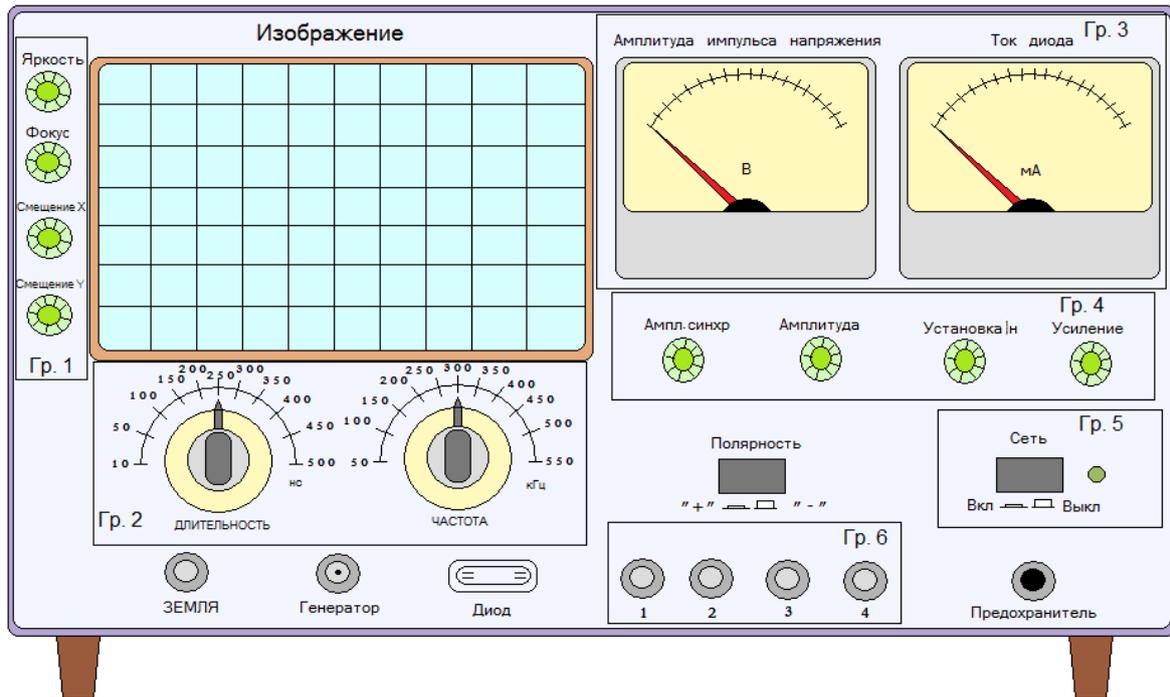
Контрольная работа по выполнению художественно - конструкторского решения лицевой панели оценивается по итогам окончательного чертежа.

Принимается во внимание:

- уравновешена ли зрительно композиция элементов панели;
- выдержан ли пропорциональный строй элементов;
- традиционно или оригинально полученное решение;
- в чем проявляется характерность фирменного стиля;
- какими профессионально – художественными средствами достигается целостность восприятия лицевой панели и не наблюдается ли визуальное «распадение» ее на части.

Примеры выполнения работы №2 «Художественно – конструкторская разработка лицевой панели радиоэлектронного устройства».





### 3. Список рекомендуемой литературы

- 3.1 Смирнов Б.А. Инженерная психология. Практические занятия. - Киев.: Вища школа, 1989. - 192 с.
- 3.2 Сомов Ю.С. Композиция в технике.- М.: Машиностроение, 1990.- 235с.
- 3.3 Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики. - МГУ, 1989.- 244с.
- 3.4 Бетоньян Д.А. Художественное конструирование бытовой радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Связь, 1980.
- 3.5 Цыбина Н.Н. Основы художественного конструирования РЭС. М.: МИРЭА, 1999, -55с.



Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
01	Проверка тракта УНЧ	H1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл-Выкл		Клеммы
		P2	Стрелочный микроамперметр	Напряжение [В]	S2	Входное напряжение	2	0,1 ... 10В – 10... ...100В	X1	Вх. ”несимметр”
					S3	Пределы измерения [В]	7	0.01-0.03-0.1-0.3-1-3-10	X2	Вх. “симметр”
		P3	Шкала “окошко”	Частота [Гц]	S4	Входное сопротивление	5	150 Ом-300Ом-600Ом-5кОм-100кОм	X3	”Осцил”
					S5	Множитель	3	x1-x10-x100	X4	”Земля”
					S6	Род работы	2	Калибр. сигн-искажения	F1	Предохр.
					SE7	Балансировка	-	Плавно		
					SE8	Установка частоты	-	Плавно		
					SE9	Калибровка сигнала	-	Плавно		

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы		
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название	
									10	11	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
02	Разбраковка ВЧ – транзисторов малой мощности	Н1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл-Выкл	X1	Колдка для подключения транзисторов	
					S2	Тип проводимости	2	‘n-p-n’ – ‘p-n-p’			
		P2	Стрелочный измерительный прибор	Коэфф. передачи	S3	Род работы	2	Калибровка – измерение			
					P3	Стрелочный микроамперметр	Контроль Iэ	S4	Установка Iэ грубо		5
		P4	Стрелочный микроамперметр	Контроль Uк				S5	Установка Uк грубо		5
					P5	Шкала “окошко”	Частота	SE6	Ток эмиттера		-
		SE7	Напряжение коллектора	-				Плавно			
		SE8	Калибровка	-				Плавно			
		SE9	Установка частоты	-	Плавно						

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы			
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название		
											1	2
03	Управление технологическим процессом получения монолитных ИС	Н1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл-Выкл	X1,2 X3,4 X5,6 X7 F8	Клеммы “Увых” “Уопор” “Устр” «Земля» Предохр.		
P5					Стрелочный микроамперметр	Напряжение	S2	Масштаб			2	1-10
							S3	Измерение			2	Измер–Уст.«0»
		S4	Режим	2			Имп – Постоян					
		S5	Род работы	2			1 – 2					
		S6	Полярность	2			«+» - «-«					
		S7	Задержка	5			2-5-10-20-50					
		SE8	Установка «0»	-			плавно					
SE9		Балансировка грубо	-	плавно								
SE10		Балансировка точно	-	плавно								
SE11		Уопор	-	плавно								
SE12		Устр	-	плавно								
SE13		Время индикации	-	плавно								

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
									10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
04	Контроль добротности катушек индуктивности в процессе производства	Н1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл – Выкл	X1	Клемма «Земля»
					S2	Диапазон Q	4	Выкл – 60 – 200 – 600		
		P2	Стрелочный микроамперметр	Уровень	S3	Род работы	3	Измерение–устан«0» - калибровка	X2,3	Зажимы для подключения «L»
					P3	Измерит. прибор с 3-мя шкалами «60» , «200» , «600»	Добротность	SE4	Частота	-
		P2	Шкала «окошко»	Частота	SE5	Емкость	-	Плавно	X5	-2-
					SE6	Установка «0»	-	Плавно	F6	Предохранитель
					SE7	Установка уровня	-	Плавно		
					SE8	Установка нуля	-	Плавно		
					SE9	Q	-	Плавно		
					SE10	Калибровка шкалы	-	Плавно под шлиц		

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
05	Контроль пробивных кремниевых подложек ИС	Н1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл – Выкл	X1	Клеммы : «Земля»
		Н2	Светоплан с 4-мя однострочно расположенными индикаторами типа (ИН2)	Цифровая высветка величины тока и напряж.	S2	Режим работы	2	Перемен – Выкл	X2,3	Напряж постоянное
					S3	Режим работы	2	Постоян – Выкл		
					S4	Режим работы	2	Устан «0» - Выкл	X4,5	Напряж переменное
					S5	Пределы измерений	10	[В] : 10-100-200 [мкА] : 2-1-0,1-0,01—2·0,001-0,001-0,0001		
		Н3	Сигнальная лампочка	Высветка размерности [В]	SE6	Напряж. 10В	-	Плавно	X6	Колодка для подключения кремниевых пластин
		Н4	Сигнальная лампочка	Высветка размерности [мкА]	SE7	Напряж. 100В	-	Плавно		
					SE8	Напряж. 200В	-	Плавно		
					SE9	Устан «0»	-	Плавно	F7	Предохр
					SE10	Время индикации	-	Плавно		



Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
07	Контроль функционирования цифровых интегральных схем (ЦИС)	Н1	Сигнальная лампочка	Питание	S1	Питание	2	Вкл – Выкл	X1	Клемма «Земля»
Н2		Сигн. лампочка	Статика	S2	Полярность	2	«+» - «-»			
Н3		Сигн. лампочка	Динамика	S3	Режим работы	2	Инд – Измер	X2	Колодка для подключения ЦИС	
Н4		Сигн. лампочка	Индикация	S4	Индикация	2	Статика – Динамика	X3		1
Н5		Сигн. лампочка	Измерение	S5	Генератор	2	ВЧ – НЧ	X4	2	
Р6		Стрелочный вольтметр	Проверка логических уровней	S6	Пределы измер	2	3 – 10	X5	3	
				S7	Запуск генер	2	Пуск – Выкл	F6	Предохранитель	
Н7	Люминесцентное табло с надписью	Схема функционирует	SE8	Время индикации	-	плавно				

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
08	Проверка работоспособности электродвигателей	H1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл – Выкл	X1	Клемма «Земля»
		H2	Светоплан с 7-ю однострочно расположенными индикаторами	Цифровая высветка числа [об/мин] и частоты [Гц]	S2	Полярность	2	«+» - «-»	XT2	ВЧ гнезда
					S3	Каналы	2	1-2		
					S4	Род работы	4	Выкл – Контр – Непрер – Тыс. об/мин	XT3	«Вход 1»
								0,001-0,01-0,1-1-10-100	XT4	«Вход 2»
		H3	Сигнальная лампочка	[об/мин]	S5	Время счета	6		XT5	«1 кГц»
								Внешн – Внутр	XT6	«10 кГц»
		H4	Сигнальная лампочка	[Гц]	S6	Генератор	2	Руч – Авт		«100 кГц»
					S7	Режим	2	Вкл – Выкл	XT7	
					S8	Пуск	2	Плавно	X8	«Внешн Генер»
					SE9	Время индикации	-		X9	Устройство подкл ЭД
									F9	Предохр

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
09	Проверка пассивной части гибридных микросхем (ГИС)	H1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл – выкл	X1	Клемма «Земля»
		H2	Светоплан с 4-мя однострочно расположенными индикаторами	Цифровая высветка величин тока , напряж , сопр	S2	Параметр	3	U-I-R	X2	Колодка для подключения ГИС
		H3	Сигнальная лампочка	Высветка размерности U	S3	Калибровка	4	U-I-R-измер		
		H4	Сигнальная лампочка	Высветка размерности I	S4	Емкость фильтра	3	0,01-0,1-0,5		
		H5	Сигнальная лампочка	Высветка размерности R	S5	Диапазон измерения	7	10·10 <sup>5</sup> -10·10 <sup>4</sup> -10·10 <sup>3</sup> -1000-100-10-1	XT3	ВЧ – гнездо «Генер»
					S6	Частота измер	3	1-2-3	F4	Предохранитель
					SE7	Калибровка	-	плавно		
					SE8	Напряжение	-	плавно		
					SE9	Время индикации	-	плавно		

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
10	Контроль параметров 6-ти серий логических интегральных схем (ЛИС)	H1	Сигнальная лампочка	Питание	S1	Питание	2	Вкл – Выкл	X1	Клеммы : «Земля» «Осцил» 1 2 ВЧ – гнездо «Генер» Колодка для подкл ЛИС Предохранитель
H2...7		6 сигнальных лампочек	Серия 119,122, 140,175, 224,265	S2...7	Серия 119,122,140, 175,224,265	2	Вкл – Выкл	X2,3		
H8.. ..12		5 сигнальных лампочек	Брак по параметру I-U'-u-I'-i	S8	Параметр	6	I-U'-u-I'-i-Выкл	X4		
H13		Сигнальная лампочка	Годен	S9	Уточнение	2	Вкл-Выкл	X5		
H14		Сигнальная лампочка	Брак	S10	Вид	11	УС-УТ-УЭ-УИ-УБ -УД-ПН-ДА-ДИ-ГС -ГФ	ХТ6		
H15		Светоплан с 4-мя однострочно расположенными индикаторами	Цифровая высветка величин: тока ,напряж	S11	Режим	2	Измер – разбраковка	X7		
				S12	Калибровка	3	I-U-Выкл	F8		
				SE13	Калибровка I	-	Плавно			
				SE14	Калибровка U	-	Плавно			
				SE15	Время индикации	-	Плавно			

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
11	Управление технологическим процессом производства ферритодиодных ячеек памяти  (по значению тока на входе)	Н1  Р2  Н3	Сигнальная лампочка  Стрелочный миллиамперметр  Светоплан с 3-мя однострочно расположенными индикаторами (типа ИН2, ЭЛИ)	Сеть  Ток [мА]  Цифровая подсветка: выходного тока [мкА]	S1 S2  S3 S4  S5 SE6 SE7 SE8 SE9	Сеть  Режим  Масштаб  Тип схемы  Изменения  Запись  Питание 1  Питание 2  Время индикации	2  3  2  11  2  –  –  –  –	Вкл–Выкл  Вход 1 – Вход 2 – – Выход  1:1 – 1: 1000  00 – 01 – 02 – 03 – 04 – 05 – 06 – 07 – 08 – 09 – 10  Вкл–Выкл  Плавно  Плавно  Плавно	X1  X2 X3 X4 X5 X6  F6	Клеммы:  «Земля»  1 2 3 4 5  Предохранитель

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед., вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
12	Контроль работоспособности триггеров (по счетному входу)	H1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл–Выкл	X1	Клеммы: «Земля»
H2		Сигн. лампочка	Годен	S2	Питание E <sub>П</sub>	2	3,0 В – Выкл	X2	Колодка для подключения триггеров	
H3		Сигн. лампочка	Брак	S4	Питание E <sub>П</sub>	2	6,3 В – Выкл			
H4		Сигн. лампочка	Индикация	S5	Сопротивление нагрузки R <sub>Н</sub>	2	Вкл–Выкл			
H5		Сигн. лампочка	Сопр. нагрузки R <sub>Н</sub>	S6	Режим	2	Индик – Измер	ХТ3	ВЧ гнездо «Генер»	
P6		Стрелочный вольтметр (с выделением допусковой зоны)	Напряж. [мВ]	SE8	Сопротивление нагрузки R <sub>Н</sub>	–	Запуск генер	2	Внешн – Внутр	X4
								плавно	X5	2
									X6	3
									X7	4
									F8	Предохранитель

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы			
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название		
											3	4
13	Управление технологическим процессом электроимпульсной подгонки тонкопленочных резисторов	Н1	Сигнальная лампочка	Питание	S1 S2	Питание Предел измерения	2 6	Вкл–Выкл 1кОм–10кОм– 100кОм–1мОм– Измер–Калибр	X1	Колодка для подключения контактирующего устройства		
		Н2	Светоплан с 4-мя однострочно расположенными индикаторами (типа ИН1, ЭЛИ)	Цифровая высветка величин: сопр. [кОм, мОм,] и тока [мА]	S3 S4	Корректировка Измерение	8 8	R1–R2–R3–R4–R5– R6–R7–R8 R1–R2–R3–R4–R5– R6–R7–R8			X2	Клеммы: «Земля»
				Высветка размерностей:	SE5 SE6 SE7	Установка 0 Ток Время индикации	– – –	плавно плавно плавно			X3 X4 X5 X6 X7	1 2 3 4 5
		Н3	Сигнальная лампочка	[кОм]								
		Н4	Сигн. лампочка	[мОм]								
		Н5	Сигн. лампочка	[мА]					F8	Предохранитель		

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
14	Контроль параметров полевых транзисторов разных типов	P1	Стрелочный микроамперметр со шкалой от 0 до 20 В	Ток, крутизна [мА, мА/В]	S1	Полярность	2	«+» – «-»	X1	Колодка для транзисторов
		H2	Сигнальная лампочка	p - тип	S2 S3	U затвора Тип канала	2 3	x0,1 – x1 «р»тип – выкл– «п»тип	F2	П редо- храни- тель
		H3	Сигнальная лампочка	n – тип	S4	Предел измерения [мА]	5	0,05 – 0,5 – 2 – 5 – 20	X3	Клеммы: «Земля»
					S5	Параметр	2	I стока – S	X4 X5 X6 X7	1 2 3 4
					SE6	U <sub>стока</sub>	–	плавно		
					SE7	U <sub>затвора</sub>	–	плавно		

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
15	Настройка УНЧ	H1	Сигнальная лампочка	Питание	S1	Питание	2	Вкл–Выкл	X1	Клеммы: «Земля»
		H2	Светоплан с 3-мя однострочно расположенными индикаторами (типа ИН1, ЭЛИ)	Цифровая высветка значения: частоты [Гц]	S2	Вх. напряжение.	2	0,1..10В–10..100В	X2,3	«Вх сигнал»
					S3	Вх. сопр. [МОм]	4	0,15–0,6–1,0–5,0	X4,5	«Осцил»
					S4	Предел измер. [В]	7	0,1–0,3–1–3–10–30–100	F6	Предохранитель
					S5	Множитель	3	x1–x10–x100		
		P3	Стрелочный вольтметр	Напряжение [В]	S6	Род работы	3	Калибр.–искаж.–вольтметр		
					SE7	Частота [Гц]	–	плавно		
					SE8	Калиб сигнала	–	плавно		
					SE9	Балансировка грубо	–	плавно		
					SE10	Балансировка точно	–	плавно		

Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
16	Контроль импульсных диодов  (по времени восстановления обратного сопротивления)	H1	Сигнальная лампочка	Сеть	S1	Сеть	2	Вкл–Выкл		Клемма «Земля»
					S2	Полярность	2	«+» – «-»	X1	
					S3	Длительность [нС]	11	10–50–100–150...500		ВЧ – гнездо «Генер»
		P2	Стрелочный миллиамперметр	Амплитуда импульса на-пряж.В	S4	Частота [кГц]	11	50–100–150–200...550	XT2	
		P3	Стрелочный миллиамперметр	Ток диода [мА]	SE5	Яркость	–	плавно		Колодка для диода
					SE6	Фокус	–	плавно	X3	
					SE7	Смещение X	–	плавно		
					SE8	Смещение Y	–	плавно	X4	1
					SE9	Ампл. синхр	–	плавно	X5	2
					SE10	Усиление	–	плавно	X6	3
					SE11	Установка I <sub>H</sub>	–	плавно	X7	4
					SE12	Амплитуда	–	плавно		
		V4	ЭЛТ типа 13Л037 (или плоский матричный газоразрядный индикатор типа ИМГ-1-01 (100X100мм)	Изображение					F8	Предохранитель







Вариант задания	Цель работы устройства	Устройства индикации информации			Органы управления				Подсоед. , вспом. и прочие элементы	
		Поз. обоз.	Тип индикатора	Информация	Поз. обоз.	Общее название	Кол. полож.	Обозначение фиксированных положений	Поз. обоз.	Тип, название
20	Управление процессом удаления фоторезистора с кремниевых пластин (в кислородной плазме)	H1	Сигнальная лампочка	Накал	S1	Накал	2	Вкл–Выкл	X1	Клемма: «Земля»
H2		Сигн. лампочка	Высокое напряжение	S2	Высокое напряжение	2	Вкл–Выкл	X2 X3	1 2	
H3		Светоплан с 3-мя односторонне расположенными индикаторами (типа ЭЛИ, ИНЗ)	Цифровая высветка величины давления [ТОРР]	S3	Контроль вакуума	2	Вкл–Выкл	X4	3	
				S4	Насос	2	Пуск–Стоп	X5	4	
SE5 SE6			Накал Высокое напряжение	– –	плавно плавно	F6	Предохранитель			
PA4 PA6		Амплитуда Миллиамперметр	Ток [А] Ток[мкА]							



