



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Управление качеством»

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
УСТРОЙСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ»

Ростов-на-Дону 2023

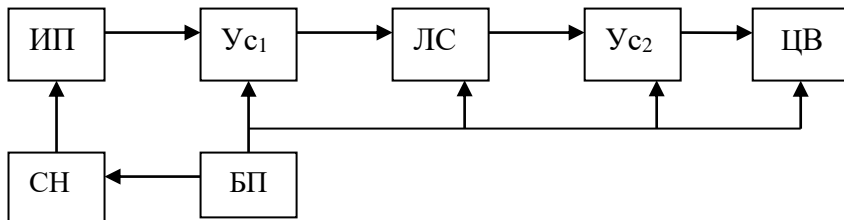
Составитель д.т.н., проф. М.С. Степанов.

Расчет и проектирование автоматизированного измерительного устройства: метод. указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизация измерений, испытаний и контроля».- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2023.-16 с.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Автоматизация измерений, испытаний и контроля», а также исходные данные для ее выполнения. Предназначены для студентов направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

1. ЗАДАНИЕ

Выполнить расчет параметров измерительной системы (ИС), структурная схема которой представлена на рисунке.



Структурная схема ИС

ИС состоит из следующих звеньев: измерительный преобразователь (ИП), усилитель 1 ($У_{с1}$), усилитель 2 ($У_{с2}$), линия связи (ЛС), цифровой вольтметр (ЦВ), стабилизатор напряжения (СН), блок питания (БП).

В результате расчета необходимо определить:

1. Среднеквадратическое отклонение суммарной погрешности ИС.
2. Класс точности ИС.
3. Вид и закон распределения суммарной погрешности ИС.
4. Доверительный интервал суммарной погрешности для заданной доверительной вероятности.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Входной величиной, воздействующей на ИП, является линейное перемещение чувствительного элемента. Конструктивно ИП и $У_{с1}$ размещены в одном корпусе и находятся в условиях заводского цеха. $У_{с2}$ и ЦВ конструктивно также

размещены в одном корпусе, находящемся в условиях лаборатории контроля качества продукции. Два здания соединены ЛС, проложенной в кабельных каналах. ИП питается от СН, остальные блоки питаются от БП, на который подается сетевое напряжение. В качестве чувствительного элемента используется реостатный ИП.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

1. Основная приведенная погрешность ИП $\gamma_{\text{ип}}$.
2. Коэффициент влияния температуры внешней среды ИП $\theta_{\text{ип}}$.
3. Диапазон колебания температуры в заводском цехе $\Delta T_{\text{ц}}$.
4. Основные приведенные погрешности усилителей $\gamma_{\text{ус1}}$ и $\gamma_{\text{ус2}}$.
5. Коэффициенты влияния сетевого напряжения усилителей $\beta_{\text{ус1}}$ и $\beta_{\text{ус2}}$.
6. Коэффициенты влияния температуры внешней среды усилителей $\theta_{\text{ус1}}$ и $\theta_{\text{ус2}}$.
7. Основная приведенная погрешность ЛС $\gamma_{\text{лс}}$.
8. Погрешность ЛС от влияния наводок сетевого напряжения $\gamma_{\text{нав}}$.
9. Класс точности ЦВ c/d .
10. Коэффициент влияния сетевого напряжения ЦВ $\beta_{\text{цв}}$, %/‰.
11. Коэффициент влияния температуры внешней среды ЦВ $\theta_{\text{цв}}$.
12. Диапазон колебания сетевого напряжения $\Delta U_{\text{с}}$.
13. Коэффициент стабилизации СН $k_{\text{ст}}$.
14. Диапазон колебания температуры в лаборатории контроля качества продукции $\Delta T_{\text{л}}$.

Количественные значения для различных вариантов приведены в п. 8

4. РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИС

4.1 Общие положения

Все составляющие погрешности данной ИС необходимо разделить на аддитивные и мультипликативные, определить для каждой из них соответствующий закон распределения и найти среднее квадратическое отклонение (СКО). Аддитивная погрешность ИС обусловлена погрешностями ИП, U_{C1} , ЛС, U_{C2} и ЦВ, а мультипликативная – колебаниями напряжений питания ИП, U_{C1} , U_{C2} и ЦВ.

4.2 Расчет составляющих погрешностей ИП

4.2.1 Расчет основной погрешности ИП

Основной составляющей погрешности реостатного ИП является погрешность дискретности, обусловленная конечным числом витков обмотки, по которым скользит подвижный контакт, и распределенная по равномерному закону. Поэтому общее распределение этой погрешности можно считать равномерным. СКО данной погрешности рассчитывается по

формуле: $\sigma_{ИП} = \frac{\gamma_{ИП}}{K}$, где K –коэффициент, зависящий от вида

закона распределения. Значения коэффициента K для различных законов распределения приведены в таблице. Данная погрешность является аддитивной и независимой от других.

4.2.2 Расчет дополнительной температурной погрешности ИП

Максимальное значение данной погрешности рассчитывается по формулам: $\gamma_{T.ИП} = \theta_{ИП} \cdot \Delta T_u$; $\sigma_{T.ИП} = \frac{\gamma_{T.ИП}}{\kappa}$. Эта погрешность распределена по равномерному закону и является аддитивной.

4.2.3 Расчет сетевой погрешности ИП

Эта погрешность ИП вызвана колебанием сетевого питающего напряжения. СН уменьшает колебания напряжения в сети в k_{CT} раз, поэтому максимальное значение этой погрешности равно:

$$\gamma_{C.ИП} = \frac{\Delta U_c}{k_{cm}}; \quad \sigma_{C.ИП} = \frac{\gamma_{C.ИП}}{\kappa}.$$

Эта погрешность является мультипликативной и распределена по треугольному закону.

4.3 Расчет составляющих погрешности U_{c1}

4.3.1 Расчет основной погрешности U_{c1}

Основная погрешность U_{c1} задана основной приведенной погрешностью γ_{yc1} . СКО этой погрешности рассчитывается по формуле: $\sigma_{yc1} = \frac{\gamma_{yc1}}{\kappa}$. Данная погрешность распределена по нормальному закону и является аддитивной.

4.3.2 Расчет дополнительной температурной погрешности U_{c1}

Данная погрешность рассчитывается по формулам:

$$\gamma_{T.Yc1} = \theta_{Yc1} \cdot \Delta T_u; \quad \sigma_{T.Yc1} = \frac{\gamma_{T.Yc1}}{\kappa}.$$

Эта погрешность аддитивна и распределена по равномерному закону.

ИП и U_{c1} конструктивно размещены в одном корпусе, поэтому их температурные погрешности коррелированы с коэффициентом $\rho=1$.

4.3.3 Расчет дополнительной сетевой погрешности U_{c1}

Данная погрешность рассчитывается по формулам:

$$\gamma_{C.Yc1} = \beta_{Yc1} \cdot \Delta U_c ; \quad \sigma_{C.Yc1} = \frac{\gamma_{C.Yc1}}{k} .$$

Аналогично п. 4.2.3 принимаем, что эта погрешность распределена по треугольному закону и является мультипликативной. Звенья ИС подключены к одной электрической сети, поэтому их сетевые погрешности коррелированы и $\rho=1$.

4.4 Расчет составляющих погрешностей ЛС

4.4.1 Расчет основной погрешности ЛС

Эта погрешность ЛС определяется шумовым воздействием, распределение которого принимаем нормальным.

$\sigma_{ЛС} = \frac{\gamma_{ЛС}}{k}$. Данная погрешность аддитивна и не коррелирована с другими.

4.4.2 Расчет дополнительной сетевой погрешности ЛС

Влияние наводок сетевого напряжения приводит к появлению сетевой погрешности ЛС, СКО которой

рассчитывается по формуле: $\sigma_{нав.ЛС} = \frac{\gamma_{нав.}}{k}$. Эта погрешность

аддитивна и распределена по арксинусоидальному закону.

4.4.3 Дополнительная температурная погрешность ЛС

Так как ЛС проложена в кабельных каналах, где температура изменяется незначительно при изменениях температуры внешней среды, то принимаем, что данная погрешность равна нулю.

4.5 Расчет составляющих погрешностей $Ус2$

4.5.1 Расчет основной погрешности $Ус2$

В соответствии с заданием основные погрешности $Ус1$ и $Ус2$ равны. Данная погрешность аддитивна, распределена по нормальному закону и не коррелирована с другими.

4.5.2 Расчет дополнительной температурной погрешности $Ус2$:

$$\gamma_{Т.Ус2} = \theta_{Ус1} \cdot \Delta T_{л}; \quad \sigma_{Т.Ус2} = \frac{\gamma_{Т.Ус2}}{k}. \text{ Эта погрешность аддитивна и}$$

распределена по равномерному закону.

4.5.3 Расчет дополнительной сетевой погрешности $Ус2$

Производится в соответствии с рекомендациями п. 4.3.3

4.6 Расчет составляющих погрешностей ЦВ

4.6.1 Расчет основной погрешности ЦВ

Поскольку известен класс точности ЦВ c/d , то принимаем, что аддитивная погрешность ЦВ равна d .

$$\gamma_{ЦВ.н} = d; \quad \sigma_{a.ЦВ} = \sigma_{ЦВ.н} = \frac{\gamma_{ЦВ.н}}{k}.$$

Аддитивная составляющая погрешности ЦВ главным образом определяется погрешностью дискретности, поэтому она

распределена по равномерному закону. Аддитивная составляющая погрешности не коррелирована с другими погрешностями.

Мультипликативную составляющую погрешности ЦВ определим следующим образом: $\gamma_{м.ЦВ} = \sqrt{c^2 - d^2}$.

Данная погрешность может быть описана экспоненциальным распределением с показателем степени 0,5.

$$p(x) = 0,25 \cdot \exp \left[-\sqrt{|x|} \right]$$

СКО определяется следующим образом: $\sigma_{м.ЦВ} = \frac{\gamma_{м.ЦВ}}{k}$.

4.6.2 Расчет дополнительной температурной погрешности ЦВ:

$$\gamma_{Т.ЦВ} = \theta_{ЦВ} \cdot \Delta T_{л}; \quad \sigma_{Т.ЦВ} = \frac{\gamma_{Т.ЦВ}}{k}.$$

Эта погрешность аддитивна и распределена по равномерному закону. Поскольку Ус2 и ЦВ расположены в одном корпусе, то принимаем, что их дополнительные температурные погрешности коррелированы и $\rho=1$.

4.6.3 Расчет дополнительной сетевой погрешности ЦВ:

$$\gamma_{С.ЦВ} = \beta_{ЦВ} \cdot \Delta U_c; \quad \sigma_{С.ЦВ} = \frac{\gamma_{С.ЦВ}}{k}.$$

Эта погрешность мультипликативна и распределена по треугольному закону.

4.7 Результаты расчета составляющих погрешностей звеньев ИС

Значения коэффициента K для различных законов распределения приведены в табл. 1. Результаты расчета

составляющих погрешностей необходимо привести в табл. 2. Кроме того, следует составить корреляционную матрицу и включить в нее все коррелированные погрешности.

Таблица 1

Значения коэффициента K для различных законов распределения

Закон распределения	Значение K
Равномерный	$\sqrt{3}$
Треугольный	$\sqrt{6}$
Нормальный	3
Арсинусоидальный	$\sqrt{2}$
Экспоненциальный	25,2

Таблица 2

Составляющие погрешности отдельных звеньев

Звено	Погрешности звеньев ИС				
	Наименование	Максимальное значение γ	СКО σ	Аддитивн./мультимп.	Вид закона распределения

5. РАСЧЕТ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИС

5.1 Общее правило суммирования погрешностей

Суммирование погрешностей σ_1 и σ_2 производится по

формуле: $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + 2\rho \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2}$,

где ρ – коэффициент корреляции данных погрешностей.

Если $\rho=0$, то сложение производится геометрически:

$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$. Если $\rho=1$, то сложение производится

алгебраически: $\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_2$.

5.2 Определение аддитивной погрешности ИС для коррелированных составляющих

Так как $\rho=1$, то суммирование производится алгебраически. Данная погрешность определяется двумя составляющими:

$$\sigma_{a.кор.1} = \sigma_{T.ИП} + \sigma_{T.Yc1}; \quad \sigma_{a.кор.2} = \sigma_{T.Yc2} + \sigma_{T.ЦВ}.$$

5.3 Определение аддитивной погрешности ИС для некоррелированных составляющих

Суммирование производится геометрически:

$$\sigma_{a.некор} = \sqrt{\sigma_{ИП}^2 + \sigma_{Yc1}^2 + \sigma_{ЛС}^2 + \sigma_{нав.ЛС}^2 + \sigma_{Yc2}^2 + \sigma_{ЦВ.н}^2}$$

5.4 Определение суммарной аддитивной погрешности ИС

Аналогично п. 5.3 сложение производится геометрически:

$$\sigma_{\Sigma a} = \sqrt{\sigma_{a.кор1}^2 + \sigma_{a.кор2}^2 + \sigma_{a.некор}^2}.$$

5.5 Определение мультипликативной погрешности ИС для коррелированных составляющих

Эта погрешность определяется следующими составляющими:

$$\sigma_{м.кор} = \sigma_{C.ИП} + \sigma_{C.Yc1} + \sigma_{C.Yc2} + \sigma_{C.ЦВ}.$$

5.6 Определение мультипликативной погрешности ИС для некоррелированной составляющей

Данная погрешность равна $\sigma_{м.ЦВ}$.

5.7 Определение суммарной мультипликативной погрешности

Сложение составляющих погрешностей производится

геометрически: $\sigma_{\Sigma м.} = \sqrt{\sigma_{м.кор}^2 + \sigma_{м.ЦВ}^2}$.

5.8 Определение погрешности ИС в начале диапазона измерений:

$$\sigma_n = \sigma_{\Sigma a}.$$

5.9 Определение погрешности ИС в конце диапазона измерений:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{\Sigma a}^2 + \sigma_{\Sigma м.}^2}.$$

6. РАСЧЕТ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

Пусть значение доверительной вероятности равно $P_d=0,9$. Тогда доверительный интервал можно определить из выражения: $\Delta_{дог} = 1,6 \cdot \sigma$.

Доверительный интервал в начале диапазона измерений: $\Delta_{дог} = 1,6 \cdot \sigma_n$. Доверительный интервал в конце диапазона измерений: $\Delta_{дог} = 1,6 \cdot \sigma_k$.

7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

7.1 Выбор принципа расчета

Для решения поставленной задачи предварительно определим один из параметров суммарного закона распределения, а по нему определим форму самого закона. В качестве такого параметра удобно использовать контрэксцесс:

$$\chi = \frac{\sigma^2}{\sqrt{\mu_4}}, \text{ где } \mu_4 - \text{четвертый центральный момент закона}$$

распределения.

Если складывается n независимых законов, то величина контрэксцесса суммарного распределения равна:

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\alpha_i}{\chi_i} \right)^2 + 6 \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \sum_{j=i+1}^n \alpha_j}},$$

где α_i - вес i -й дисперсии в суммарной дисперсии, т.е.

$$\alpha_i = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_{\Sigma}^2};$$

χ_i - контрэксцесс i -го распределения.

Проверка вычислений производится по формуле: $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

7.2 Определение контрэксцесса суммарного закона распределения в начале диапазона измерений

Определение значений α_i производится по следующим формулам:

$$\alpha_1 = \frac{\sigma_{a.кор1}^2}{\sigma_n^2}; \quad \alpha_2 = \frac{\sigma_{a.кор2}^2}{\sigma_n^2}; \quad \alpha_3 = \frac{\sigma_{III}^2}{\sigma_n^2}; \quad \alpha_4 = \frac{\sigma_{yc1}^2}{\sigma_n^2};$$

$$\alpha_5 = \frac{\sigma_{JC}^2}{\sigma_n^2}; \quad \alpha_6 = \frac{\sigma_{нав. JC}^2}{\sigma_n^2}; \quad \alpha_7 = \frac{\sigma_{yc2}^2}{\sigma_n^2}; \quad \alpha_8 = \frac{\sigma_{ИБ.Н}^2}{\sigma_n^2}.$$

Для равномерного закона контрэксцесс равен 0,745; для нормального – 0,577; для арксинусоидального – 0,816. Поэтому контрэксцесс суммарного закона в начале диапазона измерения рассчитывается по формуле:

$$\chi_n = 1 / \sqrt{\left(\frac{\alpha_1}{0,745}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_2}{0,745}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_3}{0,745}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_4}{0,577}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_5}{0,577}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_6}{0,816}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_7}{0,577}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_8}{0,745}\right)^2 + 6(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7)(\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8)}$$

7.3 Определение формы и ширины основания суммарного закона распределения в начале диапазона измерения

Основание суммарного закона можно определить из выражения: $x_\Sigma = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n k_i \sigma_i$. Величина СКО суммарной

погрешности равна $\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$. Коэффициент k_Σ для

суммарного закона равен $k_\Sigma = \frac{x_\Sigma}{\sigma_\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_i \sqrt{\alpha_i}$. Откуда

получаем:

$$k_\Sigma = \sqrt{3}(\sqrt{\alpha_1} + \sqrt{\alpha_2} + \sqrt{\alpha_3} + \sqrt{\alpha_8}) + \sqrt{2} \cdot \sqrt{\alpha_6} + 3(\sqrt{\alpha_4} + \sqrt{\alpha_5} + \sqrt{\alpha_7}).$$

Протяженность основания суммарного закона в начале диапазона измерений составляет: $x_i = k_{\Sigma} \cdot \sigma_i$.

7.4 Определение класса точности ИС в начале диапазона измерений

Искомое значение KT_n получаем, округлив x_n до ближайшего большего значения из стандартного ряда классов точности.

7.5 Определение формы и ширины основания суммарного закона распределения в начале диапазона измерения

Контрэксцесс в конце диапазона измерения определим сложением суммарной аддитивной и суммарной мультипликативной составляющих. Закон распределения суммарной погрешности в конце диапазона измерений определим как композицию двух законов: сложного, определяемого 8-ю аддитивными составляющими, и треугольного (мультипликативная составляющая).

Контрэксцесс такого распределения равен:

$$\chi_k = 1 / \sqrt{\left(\frac{\alpha_1}{\chi_1}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_2}{\chi_2}\right)^2 + 6\alpha_1\alpha_2},$$

$$\text{где: } \alpha_1 = \frac{\sigma_n^2}{\sigma_n^2 + \sigma_{\Sigma M}^2}; \quad \alpha_2 = \frac{\sigma_{\Sigma M}^2}{\sigma_n^2 + \sigma_{\Sigma M}^2}.$$

Протяженность основания суммарного закона в конце диапазона измерений составляет: $x_k = k_{\Sigma} \cdot \sigma_n + \sqrt{6} \cdot \sigma_{\Sigma M}$.

7.6 Определение класса точности ИС в конце диапазона измерений производится в соответствии с рекомендациями п.

7.4.

8. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА по номеру в списке группы

№ задания		01	02	03	04	05	06	07	08
γ _{ип}	%	0,01	0,02	0,15	0,02	0,025	0,03	0,35	0,04
θ _{ип}	%/гр	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,07	0,05
ΔТц	°С	5	10	5	5	10	15	5	10
γ _{ус1,2}	%	0,01	0,02	0,3	0,04	0,05	0,1	0,2	0,3
β _{ус1,2}	%	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03
θ _{ус1,2}	%/гр	0,001	0,002	0,003	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04
γ _{лс}	%	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,025	0,02	0,015
γ _{нав}	%	0,1	0,2	0,3	0,04	0,25	0,3	0,35	0,04
c/d		0,15/ 0,05	0,2/0, 1	0,15/ 0,1	0,2/ 0,05	0,05/ 0,025	0,15/ 0,05	0,2/ 0,1	0,25/ 0,15
β _{цв}	%/%	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,04	0,03
θ _{цв}	%/гр	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,01	-0,02	-0,03
ΔU _с	%	5	10	15	12	10	7	5	6
Кст		20	25	30	40	50	45	50	35
ΔТл	°С	5	5	5	10	10	5	5	10
№ задания		09	10	11	12	13	14	15	16
γ _{ип}	%	0,45	0,5	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
θ _{ип}	%/гр	0,03	0,1	0,05	0,07	0,08	0,07	0,05	0,03
ΔТц	°С	15	5	10	15	5	10	15	5
γ _{ус1,2}	%	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03
β _{ус1,2}	%	0,02	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
θ _{ус1,2}	%/гр	0,045	0,05	0,045	0,04	0,035	0,03	0,025	0,02
γ _{лс}	%	0,01	0,005	0,05	0,045	0,04	0,035	0,03	0,025
γ _{нав}	%	0,45	0,5	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,15
c/d		0,4/ 0,2	0,5/ 0,25	0,15/ 0,1	0,2/ 0,15	0,25/ 0,1	0,4/0, 1	0,5/ 0,15	0,15/ 0,05
β _{цв}	%/%	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
θ _{цв}	%/гр	-0,04	-0,05	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,04
ΔU _с	%	7	8	10	12	15	12	10	8
Кст		75	30	100	40	75	50	100	40
ΔТл	°С	10	5	5	10	10	5	5	10
№ задания		17	18	00					

γ _{ип}	%	0,45	0,5	0,05					
θ _{ип}	%/гр	0,03	0,01	0,05					
ΔT _ц	°C	15	5	10					
γ _{ус1,2}	%	0,4	0,5	0,4					
β _{ус1,2}	%	0,02	0,1	0,09					
θ _{ус1,2}	%/гр	0,045	0,05	0,045					
γ _{лс}	%	0,01	0,005	0,05					
γ _{нав}	%	0,45	0,5	0,15					
c/d		0,4/ 0,2	0,5/ 0,25	0,15/ 0,1					
β _{цв}	%/%	0,02	0,01	0,02					
θ _{цв}	%/гр	-0,04	-0,05	-0,01					
ΔU _с	%	7	8	10					
K _{ст}		75	30	100					
ΔT _л	°C	10	5	5					

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационно-измерительная техника и технологии; Под ред. Г.Г.Раннева.-М.: Высшая школа, 2002.
2. Измерение электрических и неэлектрических величин; Под ред. Н.Н.Евтихиева.-М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Куликовский К.Л. Методы и средства измерений/ К.Л.Куликовский, В.Я Купер.-М.: Энергоатомиздат,1986.
4. Электрические измерения;Под ред. В.Н.Малиновского-М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Основы метрологии и электрические измерения; Под ред. Е.М.Душина.-Л.: Энергоатомиздат, 1987.