МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и автоматизация производства»

Утверждено на заседании кафедры
«Робототехника и автоматизация производства»
«14» января 2022г., протокол №6

Заведующий кафедрой
_________________________Е.В. Ларкин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)

«Параметрическая точность и надежность технических систем»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

15.04.06
Мехатроника и робототехника

с направленностью (профилем)
Роботы и робототехнические системы

Форма обучения: очная
Идентификационный номер образовательной программы: 150406-02-22

Тула 2022 год

Разработчик методических указаний

Кузнецова Татьяна Рудольфовна, доцент, канд. техн. наук, ________________
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание) *(подпись)*

Задача 1. Определение аналитическим путем коэффициентов чувствительности параметров RC-фильтра

План решения задачи

1. Изучение теоретических положений по лекциям № 1–№7.
2. Ответы на вопросы по теме задачи.
3. Получение выражения для определения коэффициентов чувствительности второго порядка разностным методом.
4. Рассмотрение примера и решение типовой задачи.

Вопросы по теме:

1. Какое выражение оценивает качество изделий?
2. Каковы методы обеспечения точности сборочных процессов?
3. Получить выражение погрешности выходной характеристики от погрешности параметров.
4. Что характеризуют три члена выражения погрешности выходной характеристики?
5. Какие виды погрешностей параметров существуют, где они образуются, в чем причины их возникновения?
6. Зачем вводится понятия относительных погрешностей и коэффициентов чувствительности?
7. Что такое коэффициент чувствительности параметра, каков его физический смысл?
8. Когда справедливо выражение для погрешности выходной величины?
9. Каковы методы определения коэффициентов чувствительности?
10. В чем суть разностного метода определения чувствительности, какова область его применения?
11. Получить выражение для коэффициента чувствительности первого порядка разностным методом.
12. Что такое методическая ошибка определения коэффициента чувствительности разностным методом?

Получение коэффициентов чувствительности второго порядка

При оценке погрешностей выходной характеристики от погрешностей параметров в некоторых случаях недостаточной зависимость вида:

$$\Delta J_{вых} = \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot \Delta\alpha_i$$

В этом случае необходимо учитывать третий член разложения функции $F(\alpha_i)$ в ряд Тейлора, т. е. вторую производную. С учетом этого выражение для погрешностей выходной характеристики от независимых параметров примет вид:

$$\Delta J_{вых} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F(\alpha_i)}{\partial \alpha_i} \cdot \Delta\alpha_i + \frac{1}{2!} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial^2 F(\alpha_i)}{\partial \alpha_i^2} \cdot \Delta\alpha_i^2$$

Обозначим $A_i^2 = \dfrac{\partial^2 F(\alpha_i)}{\partial \alpha_i^2}$ и будем называть его коэффициентом чувствительности второго порядка.

Получим выражение для его определения разностным методом. Дадим параметру α_i положительное приращение $+\Delta\alpha_i$ и запишем выражение выходной характеристики, разложив его в ряд Тейлора по степеням $\Delta\alpha_i$:

$$J_{ВЫХ}^{+} = J_{ВЫХ\,0} + \frac{\partial J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i} \cdot \Delta\alpha_i + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^2} \cdot \Delta\alpha_i^2 + \frac{1}{3!} \cdot \frac{\partial^3 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^3} \cdot \Delta\alpha_i^3 + \ldots$$

Теперь запишем выражение выходной характеристики с учетом отрицательного приращения параметра $\alpha_i \rightarrow -\Delta\alpha_i$:

$$J_{ВЫХ}^{-} = J_{ВЫХ\,0} - \frac{\partial J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i} \cdot \Delta\alpha_i + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^2} \cdot \Delta\alpha_i^2 - \frac{1}{3!} \cdot \frac{\partial^3 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^3} \cdot \Delta\alpha_i^3 + \ldots$$

Сложим эти два уравнения:

$$J_{ВЫХ}^{+} + J_{ВЫХ}^{-} = 2 \cdot J_{ВЫХ\,0} + \frac{2}{2!} \cdot \frac{\partial^2 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^2} \cdot \Delta\alpha_i^2 + \frac{2}{4!} \cdot \frac{\partial^4 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^4} \cdot \Delta\alpha_i^4 + \ldots$$

где $\dfrac{2}{4!} \cdot \dfrac{\partial^4 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^4} \cdot \Delta\alpha_i^4 + \ldots$ - методическая ошибка.

Полагая, что методическая ошибка мала и стремится к нулю, можно окончательно получить:

$$A_i^2 = \frac{\partial^2 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^2} = \frac{\left(J_{ВЫХ}^{+} + J_{ВЫХ}^{-}\right) - 2 \cdot J_{ВЫХ\,0}}{\Delta\alpha_i^2} \quad (*)$$

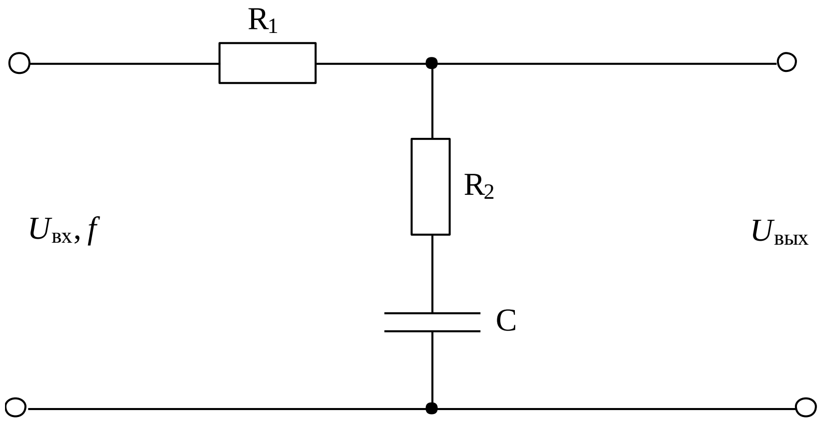
или в относительных величинах:

$$\overline{A_i^2} = \frac{\partial^2 J_{ВЫХ}}{\partial \alpha_i^2} = \frac{\left(J_{ВЫХ}^{+} + J_{ВЫХ}^{-}\right) - 2 \cdot J_{ВЫХ\,0}}{\Delta\alpha_i^2} \cdot \frac{\alpha_{i0}^2}{J_{ВЫХ\,0}} \qquad (**)$$

Таким образом, для определения его коэффициентов чувствительности второго порядка разностным методом необходимо на изделии или физической и математической его модели провести измерение выходной характеристики при номинальных значениях параметров и с учетом их отклонений, затем, используя выражения (*) или (**), рассчитать их значения.

Рассмотрение примера и первой типовой задачи

Определить коэффициенты чувствительности первого и второго порядка разностным методом с использованием математической модели пассивного RC-фильтра, схема которого представлена на рисунке



$R_1 = 10$ МОм
$R_2 = 20$ МОм
$C = 0{,}01$ мкФ
$U_{вх} = 10$ В
$f = 30$ Гц
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f =$ 188,4 Гц

Передаточная функция фильтра имеет вид:

$$W(p) = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

где $Z_1 = R_1$, $Z_2 = R_2 + \dfrac{1}{C \cdot p} = \dfrac{R_2 \cdot C \cdot p + 1}{C \cdot p}$

Подставляя Z_1 и Z_2 в $W(p)$,получим:

$$\frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{\dfrac{R_2 \cdot C \cdot p + 1}{C \cdot p}}{R_1 + \dfrac{R_2 \cdot C \cdot p + 1}{C \cdot p}} = \frac{R_2 \cdot C \cdot p + 1}{C \cdot (R_1 + R_2) \cdot p + 1}$$

Таким образом, напряжение на выходе фильтра можно записать:

$$U_{ВЫХ} = \frac{R_2 \cdot C \cdot p + 1}{C \cdot (R_1 + R_2) \cdot p + 1} \cdot U_{ВХ}$$

Переходя в частотную область, подставляем вместо $p \to j \cdot \omega$ и, определяя модуль получим:

$$U_{ВЫХ} = \frac{|R_2 \cdot C \cdot j \cdot \omega + 1|}{|C \cdot (R_1 + R_2) \cdot j \cdot \omega + 1|} \cdot U_{ВХ} = \frac{\sqrt{R_2^2 \cdot C^2 \cdot \omega^2 + 1}}{\sqrt{C^2 \cdot (R_1 + R_2)^2 \cdot \omega^2 + 1}} \cdot U_{ВХ}$$

Таким образом $U_{ВЫХ} = f\left(R_1, R_2, C, \omega, U_{ВХ}\right)$. Для определения коэффициентов чувствительности первого и второго порядка необходимо провести вычисления $U_{ВЫХ}$ при номинальных значениях параметров и задавая поочередно каждому из параметров положительные и отрицательные отклонения (±10 %) от номинального значения. Для удобства можно заполнить таблицу.

Параметры	$U_{ВЫХ\,0}$, В	$U^{+}_{ВЫХ\,0}$, В	$U^{+}_{ВЫХ\,0}$, В	$\overline{A_i}$	$\overline{A_i}^{\,2}$
R_1					
R_2					
C					
ω					
$U_{ВХ}$					

Провести необходимые расчеты и заполнить таблицу, провести анализ коэффициентов чувствительности и сделать выводы о характере зависимости выходной характеристики от значений и знаков коэффициентов чувствительности параметров.

Параметр	A_i	A_i^2
α_1	+	0
α_2	–	0
α_3	+	+
α_4	+	–
α_5	–	+
α_6	–	–

Задача 2. Оценка параметрической точности RC-фильтра методами максимума-минимума и вероятностного суммирования погрешностей

План решения задачи

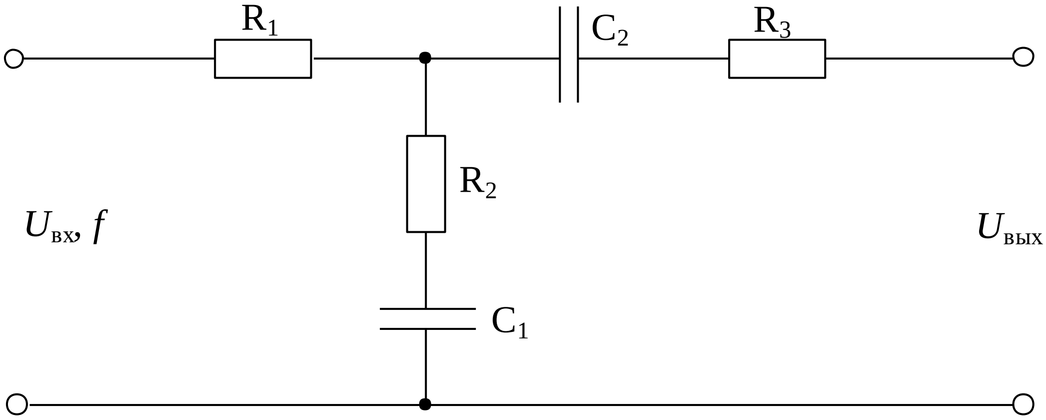
1. Изучение теоретических положений по лекциям №8–№11.
2. Ответы на вопросы по теме задачи.
3. Рассмотрение примера и решение типовой задачи анализа допусков методом максимума-минимума.
4. Решение типовой задачи анализа допусков методом вероятностного суммирования.

Вопросы по теме:

1. Записать уравнение связи предельных отклонений с допусками на параметры, дать их геометрическое пояснение.
2. Получить уравнение суммирования допусков методом максимума-минимума.
3. Какие характеристики оцениваются случайными величинами, и какие положения теории вероятности используются при выводе уравнений суммирования погрешностей с учетом законов распределения?
4. Получить уравнения суммирования допусков с учетом законов распределения.
5. Что такое коэффициент относительного рассеивания, пояснить его физический смысл.
6. Получить значения математического ожидания М, дисперсии Д и среднеквадратического отклонения для различных законов распределения.
7. Как определяется коэффициент относительного рассеивания k_J выходной характеристики?
8. Как учитывается симметрия законов распределения?
9. Как определяется коэффициент относительной симметрии β_J для выходной характеристики?
10. Как происходит распределение допусков при оценке точности функционирования систем?
11. Отчего зависит способ сборки?
12. Рассказать организацию сборки по принципу полной и неполной взаимозаменяемости. Области применения.
13. Организация сборки и области применения по принципу селекции и компенсирования.
14. Методика предварительного выбора способа сборки.
15. Формулировка решения задачи анализа по методу взаимозаменяемости, исходные данные, порядок решения.

Решение типовой задачи анализа допусков методом максимума-минимума

Определить допуск и координату середины поля допуска выходной характеристики RC-фильтра, схема которого приведена на рисунке.



Исходные данные:

R_1=200±5 МОм	$\overline{A}_{R1}=0,2$
R_2=100^{+10} МОм	$\overline{A}_{R2}=0,6$
R_3=10_{-2} МОм	$\overline{A}_{R3}=-0,1$
C_1=10±1 мкФ	$\overline{A}_{C1}=0,05$
C_2=5±0,5 мкФ	$\overline{A}_{C2}=-0,3$

Напряжение на выходе при номинальных значениях параметров $U_{ВЫХ\,0}$=10,0 В при напряжении на входе $U_{ВХ}$=15,0 В и частоте f=30 Гц.

По техническим условиям напряжение на выходе RC-фильтра должно быть $U_{вых}^{ТУ}$=(10±0,5) В.

Решение:

1. Так как параметры RC-фильтра имеют различную размерность, определим значения относительных допусков и относительных координат полей допусков по выражениям:

$$\overline{\delta}_i=\frac{BO_i-HO_i}{\alpha_{i0}} \qquad \overline{\Delta}_i=0,5\cdot\frac{\hat{A}\hat{I}_i+\acute{I}\hat{I}_i}{\alpha_{i0}}$$

$$\overline{\delta}_{R1}=\frac{5-(-5)}{200}=0,05 \qquad \overline{\Delta}_{R1}=0,5\cdot\frac{5+(-5)}{200}=0$$

$$\overline{\delta}_{R2}=\frac{10}{100}=0,1 \qquad \overline{\Delta}_{R2}=\frac{10}{2\cdot 100}=0,05$$

$$\bar{\delta}_{R3} = \frac{10-(-2)}{10} = 0,2 \qquad \bar{\Delta}_{R3} = \frac{10-(-2)}{2\cdot 10} = -0,1$$

$$\bar{\delta}_{C1} = \frac{2}{10} = 0,2 \qquad \bar{\Delta}_{C1} = 0$$

$$\bar{\delta}_{C2} = \frac{1}{5} = 0,2 \qquad \bar{\Delta}_{C2} = 0$$

2. Определим фактические значения поля допуска $\bar{\delta}_J$ и координаты поля допуска $\bar{\Delta}_J$ выходной характеристики по выражениям:

$$\bar{\delta}_J = \sum_{i=1}^{5} \left|\bar{A}_i\right| \cdot \bar{\delta}_i \qquad \bar{\Delta}_J = \sum_{i=1}^{5} \bar{A}_i \cdot \bar{\Delta}_i$$

$$\bar{\delta}_J = 0,2\cdot 0,05 + 0,6\cdot 0,1 + 0,1\cdot 0,2 + 0,05\cdot 0,2 + 0,3\cdot 0,2 = 0,16$$

$$\bar{\Delta}_J = 0,6\cdot 0,05 + (-0,1)\cdot(-0,1) = 0,04$$

Абсолютные значения δ_J и Δ_J будут равны:

$$\delta_J = \bar{\delta}_J \cdot U_{ВЫХ0} = 0,16\cdot 10 = 1,6\ В$$

$$\Delta_J = \bar{\Delta}_J \cdot U_{ВЫХ0} = 0,04\cdot 10 = 0,4\ В$$

1. Построим поля допустимых и фактических отклонений выходной характеристики, для чего определим верхнее и нижнее отклонение выходной характеристики.

Поле допустимых отклонений:

$$BO_J^{ТУ} = \Delta_J^{ТУ} + 0,5\cdot\delta_J^{ТУ} = 0 + 0,5\cdot 1,0 = 0,5\ В$$

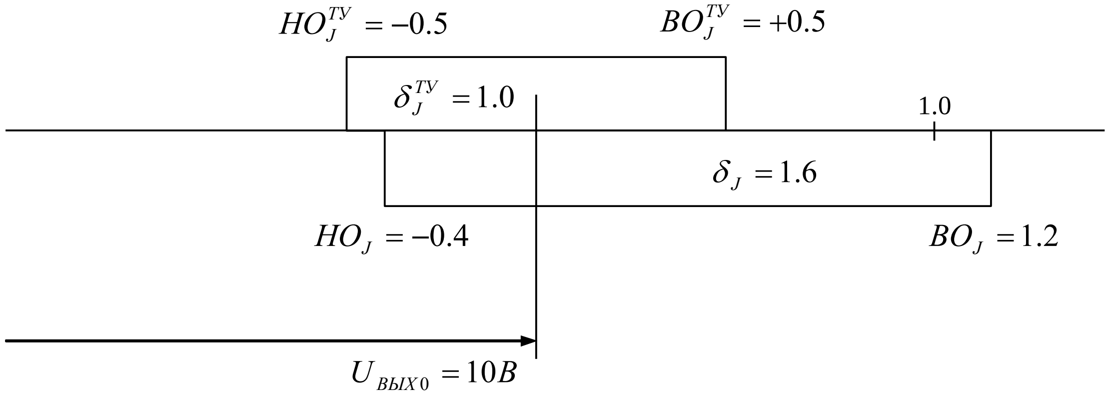
$$HO_J^{ТУ} = \Delta_J^{ТУ} - 0,5\cdot\delta_J^{ТУ} = 0 - 0,5\cdot 1,0 = -0,5\ В$$

Поле фактических отклонений:

$$BO_J = \Delta_J + 0,5\cdot\delta_J = 0,4 + 0,5\cdot 1,6 = 1,2\ В$$

$$HO_J = \Delta_J - 0,5\cdot\delta_J = 0,4 - 0,5\cdot 1,6 = -0,4\ В$$

Графические изображения полей допустимых и фактических отклонений имеют вид:



Как видно из рисунка, поле фактических отклонений не совпадает с полем допустимых отклонений и значительно превосходит его по величине, т. е. $\delta_J > \delta_j^{ТУ}$.

4. Для того, что совместить поле фактических отклонений с полем допустимых отклонений проведем корректировку значений допусков некоторых параметров. Для этого целесообразно выбрать параметры, имеющие наибольшие коэффи-

циенты чувствительности, например C_2 и R_2, т. к. это даст наибольший эффект. Уменьшим поля допусков на эти параметры в два раза, т.е. зададим на них следующие допуска:

$R_2 = 100^{+5}$ МОм, $C_2 = 5 \pm 0{,}25$ мкФ.

5. Проводим повторный расчет, в результате получим:

$\delta_J = 1{,}0\ B$ $\qquad \Delta_J = 0{,}115\ B$

$BO_J = 0{,}615\ B$ $\qquad HO_J = -0{,}385\ B$

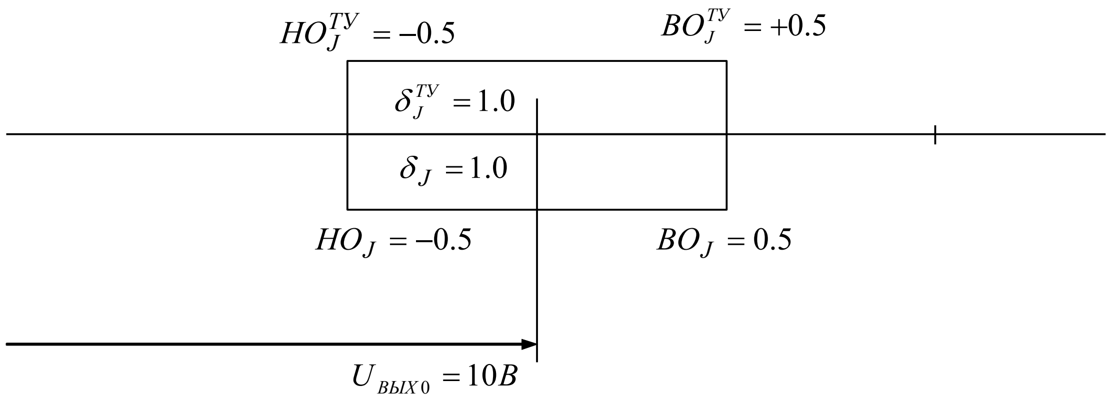
Получили, что поле фактических отклонений по величине совпадает полю допустимых отклонений, т.е. $\delta_J = \delta_J^{TY} = 1.0\ B$.

Однако предельные отклонения не совпадают с допустимыми отклонениями. Для того, чтобы они совпали, необходимо на все параметры назначить симметричные допуски, для которых $\Delta_i = 0$, тогда и $\Delta_J = 0$. Корректируем предельные отклонения параметров R_2 и R_3. Установим на них $R_2 = 100 \pm 2{,}5$ МОм, $R_3 = 10 \pm 1$ МОм.

Тогда окончательно будем иметь:

$\delta_J = 1{,}0\ B$ $\qquad \Delta_J = 0\ B$

$BO_J = BO_J^{TY} = 0{,}5\ B$ $\qquad HO_J = -0{,}5\ B$



Задание на решение второй типовой задачи

Решить предыдущий пример методом вероятностного суммирования погрешностей с учетом законов распределения параметров и процент допустимого брака выходной характеристики.

№	Закон распределения	Процент

вариан-та	R_1	R_2	R_3	C_1	C_2	допу-стимого брака
1	Норм.	Возр.вер.	Убыв.вер.	Симпсона	Равновер.	0,5
2	Возр.вер.	Норм.	Убыв.вер	Симпсона	Равновер.	0,2
3	Равновер.	Возр.вер.	Норм.	Убыв.вер	Симпсона	0,1
4	Равновер.	Симпсона	Возр.вер.	Норм.	Убыв.вер	1,0
5	Равновер.	Равновер.	Убыв.вер	Возр.вер.	Норм.	1,5
6	Норм.	Равновер.	Симпсона	Убыв.вер	Возр.вер.	0,05
7	Возр.вер.	Норм.	Равновер.	Симпсона	Убыв.вер	2,0
8	Равновер.	Возр.вер.	Норм.	Норм.	Симпсона	3,0
9	Равновер.	Симпсона	Возр.вер.	Равновер.	Норм.	0,27
10	Равновер.	Симпсона	Норм.	Возр.вер.	Убыв.вер	5,0
11	Норм.	Норм.	Симпсона	Равновер.	Симпсона	0,5

Задача №3. Синтез допусков параметров RC-фильтра методами равных относительных допусков и пропорционального влияния

План решения задачи

1. Изучение теоретических положений по лекциям №11–№12.
2. Ответы на вопросы по теме задачи.
3. Рассмотрение примера и решение типовой задачи синтеза методом равных относительных допусков.
4. Решение типовой задачи синтеза методом пропорционального влияния.

Вопросы по теме

1. Формулировка задачи синтеза допусков на параметры, в чем особенность решения задачи?
2. Какие существуют методы решения задачи синтеза?

3. Особенности решения зада- чи синтеза допусков с использованием ЭЦВМ?

4. Какие существуют аналитические методы решения задачи синтеза?

5. В чем суть решения задачи синтеза методом равных допусков?

6. В чем суть решения задачи синтеза методом пропорционального влияния?

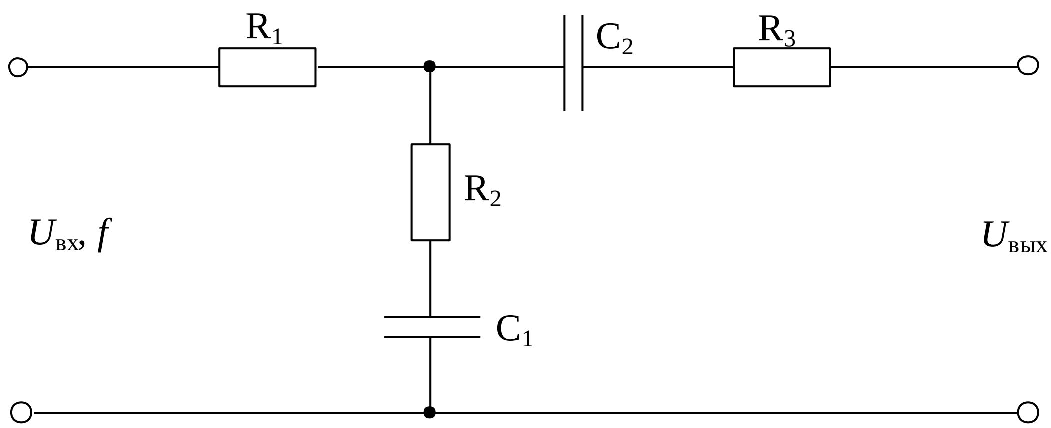
7. Область применения методов равных допусков и пропорционального влияния?

8. В чем суть метода равной точности производства?

9. Зачем необходимо вводить корректирующий параметр при решении задачи синтеза методом равной точности производства?

Решение типовой задачи синтеза методом равных относительных допусков

Определить допуски на параметры RC-фильтра, обеспечив полную взаимозаменяемость, методом равных допусков. Схема фильтра имеет вид:



R_1=200 МОм	$\overline{A}_{R1} = 0,2$
R_2=100 МОм	$\overline{A}_{R2} = 0,6$
R_3=10 МОм	$\overline{A}_{R3} = -0,1$
C_1=10±1 мкФ	$\overline{A}_{C1} = 0,05$
C_2=5 мкФ	$\overline{A}_{C2} = -0,3$

Необходимо обеспечить напряжение на выходе $U_{ВЫХ}^{ТУ}$=(10±0,5) В.

Решение:

1. Так как на один из параметров C_1 допуск задан, то определим величину оставшегося допуска на выходную характеристику, которую необходимо распределить между параметрами:

$$\overline{\delta}^* = \overline{\delta}_J^{ТУ} - \sum_{ИЗВ} \left|\overline{A}_i\right| \cdot \overline{\delta}_i$$

$$\overline{\delta}^* = \frac{\overline{\delta}_J^{ТУ}}{U_{ВЫХ0}} - \left|\overline{A}_i\right| \cdot \frac{\overline{\delta}_i}{C_{10}} = \frac{1.0}{10,0} - 0,05 \cdot \frac{2}{10} = 0,09$$

2. Определим теперь величину среднего относительного допуска на параметры R_1, R_2, R_3 и C_2 по выражению

$$\bar{\delta}_i = \frac{\bar{\delta}^*}{\sum\limits_{ÈÑÊ} \left|\bar{A}_i\right|} = \frac{0,09}{0,2+0,6+0,1+0,3} = \frac{0,09}{1,2} = 0,075$$

Таким образом, получили значение среднего относительного допуска на параметры равное 0,075 или 7,5 % от номинального значения параметра. Напомним, что допуск на параметр C_1 составляет 20% от номинала.

3. Определим абсолютные значения допусков по выражению:

$$\delta_i = \bar{\delta}_i \cdot \alpha_{i0}$$

$$\delta_{R1} = 0,075 \cdot 200 = 15 \text{ МОм}$$

$$\delta_{R2} = 0,075 \cdot 100 = 7.5 \text{ МОм}$$

$$\delta_{R3} = 0,075 \cdot 10 = 0,75 \text{ МОм}$$

$$\delta_{C2} = 0,075 \cdot 5 = 0,375 \text{ мкФ}$$

Принимая во внимание, что допуски на РЭ, в основном, симметричны относительно номинального значения, можно записать:

$$\delta_{R1} = 200 \pm 7,5 \text{ МОм}$$

$$\delta_{R2} = 100 \pm 3,75 \text{ МОм}$$

$$\delta_{R3} = 10 \pm 0,375 \text{ МОм}$$

$$\delta_{C2} = 10 \pm 1 \text{ мкФ}$$

$$\delta_{C2} = 5 \pm 0,1875 \text{ мкФ}$$

4. Проведем проверку выполнения технических условий:

$$\bar{\delta}_J = \sum_{i=1}^{5} \left|\bar{A}_i\right| \cdot \bar{\delta}_i = 0.2 \cdot 0.075 + 0,6 \cdot 0,075 + 0,1 \cdot 0,075 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,075 = 0,1$$

$$\delta_J = \bar{\delta}_J \cdot U_{ВЫХ} = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \ B.$$

То есть, получили $\delta_J = \delta_J^{ТУ} = 1,0$ В и $\Delta_J = \Delta_J^{ТУ} = 0$

5. Для РЭ резисторов и конденсаторов значения допусков нормализованы следующим рядом: ±1%; ±2%; ±5%; ±10%; ±20% от их номинальных значений.

При решении задачи назначены допуски на параметры RC-фильтра равные ±3,75 %, что не соответствует приведенному ряду нормированных допусков.

Проведем нормировку допусков на параметры RC-фильтра. Назначим на параметры R_1, R_3 и C_2 допуски ±5%, а на параметр R_2, как наиболее влияющий ±2%.

Тогда абсолютные значения допусков на эти параметры составят:

$$\delta_{R1} = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ МОм}$$

$$\delta_{R2} = 0,04 \cdot 100 = 4,0 \text{ МОм}$$

$$\delta_{R3} = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ МОм}$$

$$\delta_{C2} = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ мкФ}$$

Проведем повторную проверку выполнения технических условий:

$$\bar{\delta}_J = \sum_{i=1}^{5} \left|\bar{A}_i\right| \cdot \bar{\delta}_i = 0,2 \cdot 0,1 + 0,6 \cdot 0,04 + 0,1 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,1 = 0,094$$

$$\delta_J = \bar{\delta}_J \cdot U_{ВЫХ} = 0,094 \cdot 10 = 0,94 \ \ B.$$

Таким образом, при нормированных допусках на параметры RC-фильтра получили, что допуск на выходную характеристику тоже соответствует требованиям техническим условиям, хотя и некоторым запасом.

Задание на решение третьей типовой задачи

Решить задачу синтеза допусков на параметры RC-фильтра, используя принцип пропорционального влияния методом вероятностного суммирования погрешностей, обеспечив напряжение $U_{ВЫХ}$=(10±0,5) В при заданных законах распределения параметров и допустимой вероятности брака выходной характеристики.

№ варианта	Закон распределения					Процент допустимого брака
	R_1	R_2	R_3	C_1	C_2	
1	Норм.	Возр.вер.	Убыв.вер.	Симпсона	Равновер.	0,5
2	Возр.вер.	Норм.	Убыв.вер	Симпсона	Равновер.	0,2
3	Равновер.	Возр.вер.	Норм.	Убыв.вер	Симпсона	0,1
4	Равновер.	Симпсона	Возр.вер.	Норм.	Убыв.вер	1,0
5	Равновер.	Равновер.	Убыв.вер	Возр.вер.	Норм.	1,5
6	Норм.	Равновер.	Симпсона	Убыв.вер	Возр.вер.	0,05
7	Возр.вер.	Норм.	Равновер.	Симпсона	Убыв.вер	2,0
8	Равновер.	Возр.вер.	Норм.	Норм.	Симпсона	3,0
9	Равновер.	Симпсона	Возр.вер.	Равновер.	Норм.	0,27
10	Равновер.	Симпсона	Норм.	Возр.вер.	Убыв.вер	5,0
11	Равновер.	Возр.вер.	Норм.	Симпсона.	Симпсона	0,27

После нормировки полученных допусков, использую ряд ±1%; ±2%; ±5%; ±10%; ±20%, провести проверку выполнения технических условий.

Задача 4. Определение допусков при селективной сборке методом групповой взаимозаменяемости

План решения задачи

1. Изучение теоретических положений по лекции №13.
2. Ответы на вопросы по теме задачи.
3. Рассмотрение примера решения типовой задачи назначения допусков при селективной сборке методом групповой взаимозаменяемости.
4. Решение типовой задачи назначения допусков при селективной сборке методом групповой взаимозаменяемости.

Вопросы по теме:

1. В чем сущность метода селективной сборки, какие проблемы он позволяет решить?
2. Что такое паритетное распределение допуска при групповой взаимозаменяемости?
3. Что такое групповой допуск, как рассчитываются предельные отклонения для различных групп?
4. Что является важнейшим условием применения метода групповой взаимозаменяемости?
5. Как рассчитывается число деталей в каждой группе при селективной сборке?

Решение задачи назначения допусков при селективной сборке

Определить количество групп, верхнее и нижнее предельные отклонения каждой группы для селективной сборки двух деталей с производственными допусками $\delta_1 = \delta_2 = 40$ мкм при паритетном распределении допуска на соединение δ_J^{TY} =20 мкм с координатой Δ_J^{TY} =60 мкм. Определить число деталей каждой группы для нормального распределения производ- ственных допусков при сборке 1000 комплектов.

Решение:

1. Определим групповой допуск по выражению:

$$\delta_{ГР} = \frac{\delta_J^{ТУ}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ мкм}$$

2. Определим количество групп, на которые необходимо сортировать детали с производственными допусками δ_1 и δ_2 по выражению:

$$k = \frac{\delta_1}{\delta_{ГР}} = 2 \cdot \frac{\delta_1}{\delta_J^{ТУ}} = 2 \cdot \frac{40}{20} = 4$$

3. Выберем систему отверстия и определим предельные отклонения для первой группы каждой детали, предварительно рассчитав предельные отклонения соединения:

$$BO_J^{ТУ} = \Delta_J^{ТУ} + 0.5 \cdot \delta_J^{ТУ} = 60 + 0.5 \cdot 20 = 70 \text{ мкм}$$

$$HO_J^{ТУ} = \Delta_J^{ТУ} - 0.5 \cdot \delta_J^{ТУ} = 60 - 0.5 \cdot 20 = 50 \text{ мкм}$$

с учетом этого получим:

$$HO_{11} = 0$$

$$BO_{11} = \frac{\delta_J^{ТУ}}{2} = 10 \text{ мкм}$$

$$HO_{21} = BO_{11} - BO_J^{ТУ} = 10 - 70 = -60 \text{ мкм}$$

$$BO_{21} = HO_{11} - HO_J^{ТУ} = 0 - 50 = -50 \text{ мкм}$$

Координаты середины полей допусков первой группы будут равны:

$$\Delta_{11} = \frac{\delta_J^{ТУ}}{4} = \frac{20}{4} = 5 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{21} = \frac{\delta_J^{ТУ}}{4} - \Delta_J^{ТУ} = 5 - 60 = -55 \text{ мкм}$$

4. Определим теперь предельные отклонения для остальных трех групп:

$$BO_{12} = \Delta_{11} + (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\delta_J^{ТУ}}{4} = 5 + 3 \cdot \frac{20}{4} = 20 \text{ мкм}$$

$$HO_{12} = \Delta_{11} + (2 \cdot k - 3) \cdot \frac{\delta_J^{ТУ}}{4} = 5 + 5 = 10 \text{ мкм}$$

$$BO_{22} = \Delta_{21} + (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\delta_J^{ТУ}}{4} = -55 + 3 \cdot 5 = -40 \text{ мкм}$$

$$HO_{22} = \Delta_{21} + (2 \cdot k - 3) \cdot \frac{\delta_J^{ТУ}}{4} = -55 + 5 = -50 \text{ мкм}$$

аналогично:

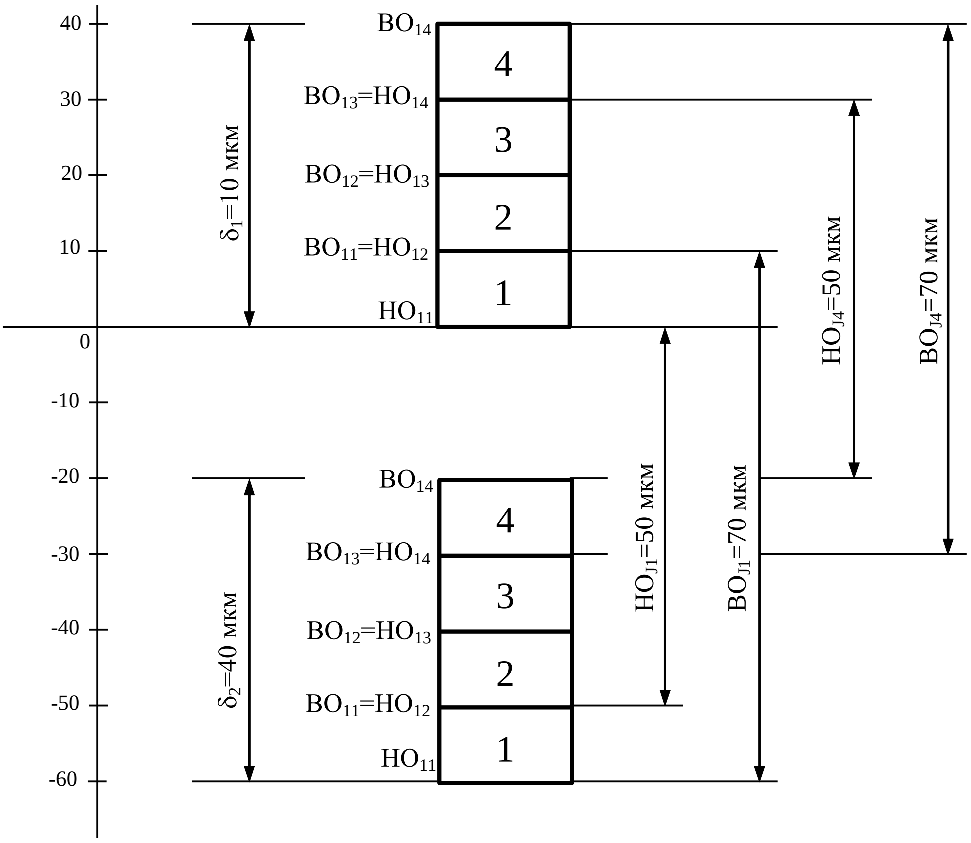
$BO_{13} = 30$ мкм $\qquad\qquad BO_{23} = -30$ мкм

$HO_{13} = 20$ мкм $\qquad HO_{23} = -40$ мкм

$BO_{14} = 40$ мкм $\qquad BO_{23} = -20$ мкм

$HO_{14} = 30$ мкм $\qquad HO_{24} = -30$ мкм

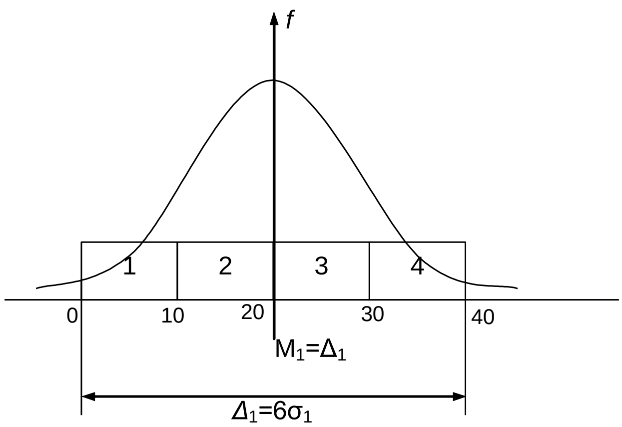
5. Построим картину расположение полей допусков этих двух деталей и размерных групп для селективной сборки:



Таким образом, при паритетном распределении на четыре группы допуск соединения δ_J для любой из групп равен 20 мкм, что соответствует ТУ и в четыре раза точнее возможного допуска соединения, полученного без предварительной сортировки. Предельные отклонения для всех групп также равны, соответствуют ТУ и составляют 50 и 70 мкм.

6. Определим теперь число деталей в каждой из групп:

По условиям задачи, распределение в пределах производственных допусков подчиняется нормальному закону с математическим ожиданием, совпадающим с координатой середины поля допуска.



Из рисунка следует, что

$M_1 = \Delta_1 = 20$ мкм

$\sigma_1 = \frac{\delta_1}{6} = \frac{40}{6} = 6,67$ мкм

Определим теперь вероятность попадания случайного размера детали в первую группу по выражению: $p_1 = Вер\{НО_{11} \le x \le ВО_{11}\} = \Phi(z_1) - \Phi(z_2)$

$$z_1 = \frac{НО_{11} - M_1}{\sigma_1} = \frac{0-20}{6.67} = -2.998 \quad \Phi(z_1) = 0,498$$

$$z_2 = \frac{ВО_{11} - M_1}{\sigma_1} = \frac{10-20}{6.67} = -1.499 \quad \Phi(z_2) = 0,432$$

Тогда

$p_1 = 0,498 - 0,432 = 0,066$

При общем числе деталей N=1000, получим деталей первой группы $n_1 = p_1 \cdot N = 0,066 \cdot 1000 = 66$ шт.

$p_2 = Вер\{НО_{12} \le x \le ВО_{12}\}$

$$z_1 = \frac{НО_{12} - M_1}{\sigma_1} = \frac{10-20}{6.67} = -1.499 \quad \Phi(z_1) = 0,432$$

$$z_2 = \frac{ВО_{12} - M_1}{\sigma_1} = \frac{20-20}{6.67} = 0 \qquad \Phi(z_2) = 0$$

$p_2 = \Phi(z_1) - \Phi(z_2) = 0.432 - 0 = 0,432$

$n_2 = p_2 \cdot N = 432$ шт.

Т. к. закон симметричен, то можно утверждать, что

$n_3 = n_2 = 432$

$n_4 = n_1 = 66$

Задание на решение четвертой типовой задачи

Определить число групп, предельные отклонения размеров и число деталей каждой группы селективной сборки двух деталей в партии 10000 комплектов при паритетном распределении допуска $\delta_J^{ТУ}$ с координатой $\Delta_J^{ТУ}$. Производственные допуска на параметры $\delta_1 = \delta_2$.

Вариант	$\delta_J^{ТУ}$, мкм	$\Delta_J^{ТУ}$, мкм	δ_1=δ_2, мкм
1, 12	30, 20	-65	45, 50
2, 13	20, 10	-60	40, 20
3, 14	10, 20	30	20, 40
4, 15	10, 20	-30	20, 40
5, 16	10, 20	-50	30, 50
6, 17	20, 10	-40	50, 25
7, 18	10, 20	50	30, 50
8, 19	20, 30	30	30, 60

9, 20	30, 20	65	45, 40
10, 21	30, 20	-35	45, 50
11, 22	20, 10	50	50, 30

Задача 5. Определение допусков на параметры при сборке методом компенсирования погрешностей

План решения задачи

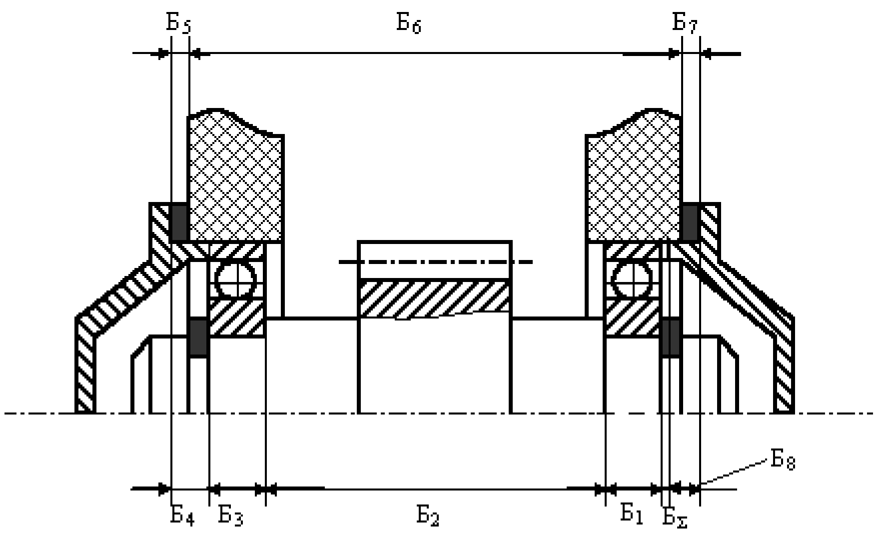
1. Изучение теоретических положений по лекции № 14 -- №15.
2. Ответы на вопросы по теме задачи.
3. Рассмотрение примера решения типовой задачи по сборке методом компенсирования погрешностей.
4. Решение типовой задачи по сборке методом компенсирования погрешностей.

Вопросы по теме:

1. В каких случаях применяется сборка с компенсацией, в чем сущность этого метода сборки, каковы его преимущества?
2. Что такое величина компенсации, и почему необходимо стремиться, чтобы она была минимальной?
3. Какие виды компенсации существуют, как они рассчитываются по величине и коэффициенту чувствительности?
4. В чем сущность пригонки, чем она отличается от регулирования?
5. Как рассчитываются ступенчатые компенсаторы, какие они бывают?

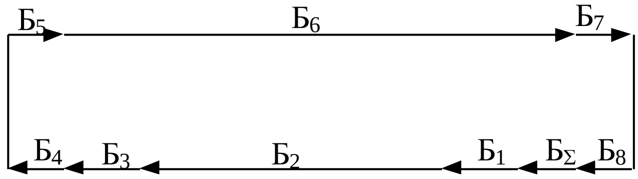
Решение задачи определения допусков на параметры при сборке методом компенсирования погрешностей

Требуется обеспечить зазор между крышками и торцами наружных колец подшипников $Б_z^{ТУ}$=(0.7 - 0.9) мм в сборке шестерни с валом методом компенсирования погрешностей с использованием прокладок разной толщины. Вид соединения представлен на рис.



1. Составим схему размерной цепи, определим типы звеньев и запишем уравнение.

Схема имеет вид, представленный на рисунке.



Звенья $Б_5$, $Б_6$ и $Б_7$ являются увеличивающими, а звенья $Б_1$, $Б_2$, $Б_3$, $Б_4$, и $Б_8$ – уменьшающими.

Уравнение размерной цепи имеет вид:

$Б_\Sigma = Б_5 + Б_6 + Б_7 – Б_1 – Б_2 – Б_3 – Б_4 – Б_8$

2. Зазор $Б_\Sigma$ в сборке обеспечивается установкой прокладок $Б_5$ и $Б_7$ между крышками и торцами приливов корпуса. Примем, что первоначально при сборке устанавливаются две прокладки, толщиной $1_{-0.02}$ мм, по одной с каждой из сторон.

На составляющие звенья конструктором заданы следующие размеры и предельные отклонения:

$Б_1 = Б_3 = 19_{-0.1}$ мм $\qquad \delta_1 = \delta_3 = 0{,}1 \qquad \Delta_1 = \Delta_3 = \ 0{,}05$

$Б_2 = 150^{-0.14}_{-0.28}$ мм $\qquad \delta_2 = 0.14 \qquad \Delta_2 = -0.21$

$Б_4 = Б_8 = 10_{-0.06}$ мм $\qquad \delta_4 = \delta_8 = 0.06 \qquad \Delta_4 = \Delta_8 = -0.03$

$Б_5 = Б_7 = 1_{-0.02}$ мм $\qquad \delta_5 = \delta_7 = 0.02 \qquad \Delta_5 = \Delta_7 = -0.01$

$Б_6 = 207^{+0.3}$ мм $\qquad \delta_6 = 0.3 \qquad \Delta_6 = +0.15$

3. Определим замыкающий размер, допуск и предельные отклонения зазора, которые получаются в соединении при сборке до компенсирования.

$$Б_{\Sigma 0} = Б_5 + Б_6 + Б_7 - Б_1 - Б_2 - Б_3 - Б_4 - Б_8 = (1 + 207 + 1) - (2 \cdot 19 + 150 + 2 \cdot 10) = 1{,}0 \text{ мм}$$

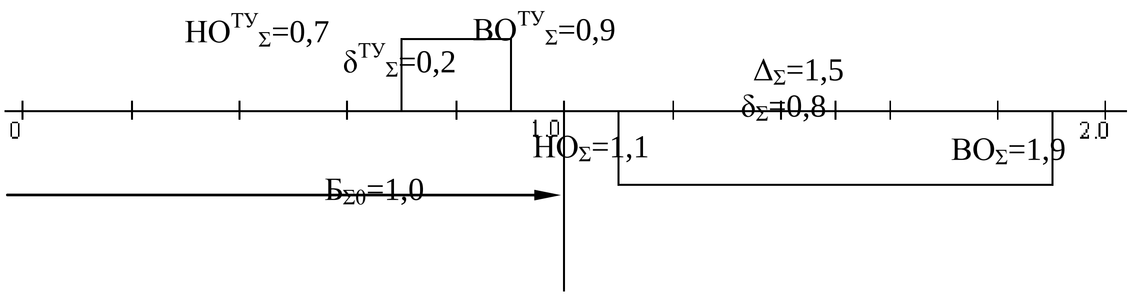
$$\delta_\Sigma = 2 \cdot 0.1 + 0.14 + 2 \cdot 0.06 + 2 \cdot 0.02 + 0.3 = 0.8 \text{ мм}$$

$$\Delta_\Sigma = (-0.01 + 0.15 - 0.01) - (-0.05 - 0.21 - 0.05 - 0.03 - 0.03) = 0.5 \text{ мм}$$

$$BO_\Sigma = \Delta_\Sigma + 0.5 \cdot \delta_\Sigma = 0.5 + 0.8 \cdot 0.5 = 0.9 \text{ мм}$$

$$HO_\Sigma = \Delta_\Sigma - 0.5 \cdot \delta_\Sigma = 0.5 - 0.8 \cdot 0.5 = 0.1 \text{ мм}$$

4. Построим поле фактических отклонений и сравним его с полем допуска на зазор, получим:

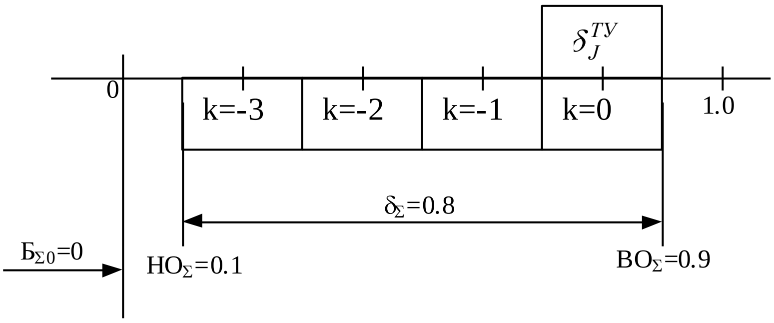


Таким образом, в соединении при установленных прокладках толщиной по $1_{-0.02}$ мм образуется зазор от 1,1 мм до 1,9 мм. Так как прокладки увеличивают зазор, то они относятся к увеличивающим компенсаторам. При использовании увеличивающих компенсаторов для обеспечения минимальной величины компенсирования необходимо совмещение верхних границ допусков. Проведем корректировку номинальных размеров на величину l_k, для совмещения верхних границ полей допусков

$$l_k = \frac{1}{|A_k|} \cdot \left(BO_\Sigma - BO_J^{TY}\right) = 1.9 - 0.9 = 1.0 \text{ мм}$$

То есть необходимо увеличить любое из уменьшающих звеньев на один миллиметр, или удалить одну из прокладок, например $Б_7$. Увеличим $Б_2$ на 1 мм, примем что $Б_2$=151 мм. Тогда $Б_{\Sigma 0}$=0 мм.

В результате получим следующую картину расположения полей допусков.



5. Определим теперь размеры прокладок, которые необходимо установить, чтобы зазор в соединении соответствовал техническим условиям. Выберем прокладки различной толщины, при этом будем считать, что допуск на прокладки пренебрежимо мал по сравнению с допуском на выходную характеристику $\delta_k << \delta_J^{TY}$.

Тогда

$$\delta_{гр} = \delta_J^{TY} = 0.2$$

Необходимо иметь $k = \dfrac{\delta_\Sigma}{\delta_{гр}} = \dfrac{0.8}{0.2} = 4$ группы прокладок.

Размеры прокладок определим по выражению:

$$\alpha_{ki} = \alpha_{k0} - \frac{k \cdot \delta_{гр}}{A_к}$$

Для первой группы прокладки не нужны, т. е. $\alpha_{k0} = 0$

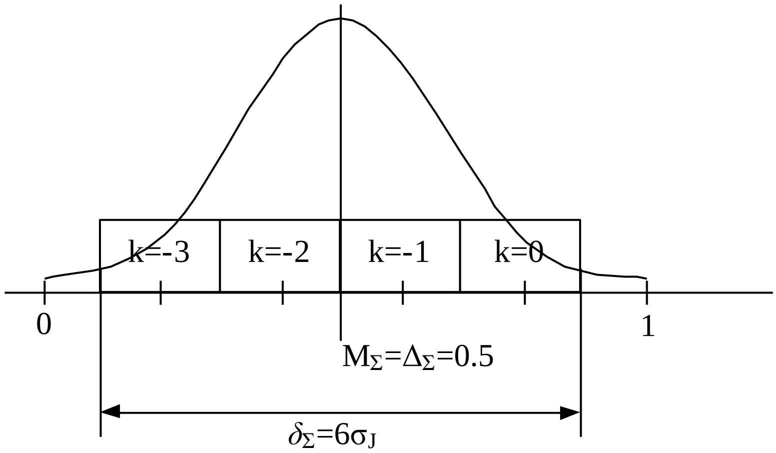
$\alpha_{k1} = 0 - \dfrac{-1 \cdot 0.2}{1} = +0.2$ мм $\boxed{0.2}$ 2 пр. по 0.1 мм +1.0 мм = 1.1 мм

$\alpha_{k2} = 0 - \dfrac{-2 \cdot 0.2}{1} = +0.4$ мм $\boxed{0.4}$ 2 пр. по 0.2 мм +1.0 мм = 1.2 мм

$\alpha_{k3} = 0 - \dfrac{-3 \cdot 0.2}{1} = +0.6$ мм $\boxed{0.6}$ 2 пр. по 0.3 мм+1.0 мм= 1.3 мм

Таким образом, измеряя фактическую величину зазора, определяют какую прокладку необходимо установить в соединение, с тем, чтобы получить необходимый зазор.

6. Определим теперь число прокладок, которое необходимо иметь на рабочем месте сборщика при сборке 1000 изделий. Так как зазор является функцией восьми размеров, то можно считать, закон распределения его нормальный. Тогда



$$n_i = p_i \cdot N$$

$$p_i = Вер\{HO_i < x_i < BO_i\} = \Phi(z_1) - \Phi(z_2)$$

$$\sigma_J = \frac{0.8}{6} = 0.133$$

$$z_1 = \frac{HO_i - M_J}{\sigma_J} = \frac{0.1 - 0.5}{0.133} = -3.0 \qquad \Phi(z_1) = 0.5$$

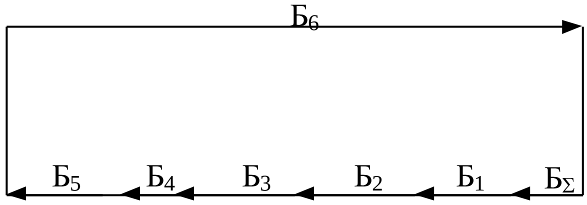
$$z_2 = \frac{BO_i - M_J}{\sigma_J} = \frac{0.3 - 0.5}{0.133} = -1.5 \qquad \Phi(z_2) = 0.4332$$

p_3=0,5 – 0,4332=0,0668 $n_3 = 0{,}0668 \cdot 1000 = 67$ шт.

$n_2 = n_1 = 433$ шт.

Задание на решение пятой типовой задачи

Требуется обеспечить зазор $Б_{\Sigma}^{ТУ} = 0{,}5 \ldots 0{,}6$ мм в соединении, размерная цепь которого имеет вид, представленный на рисунке, методом компенсирования погрешностей с использованием прокладок одинаковой толщины.



№ вар.	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	$Б_4$	$Б_5$	$Б_6$
1	$6_{-0,1}$	$7_{-0,1}$	$3_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,11}$
2	$6_{-0,08}$	$7_{-0,08}$	$3_{-0,07}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,12}$
3	$6_{-0,12}$	$7_{-0,12}$	$3_{-0,08}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,1}$
4	$6_{-0,11}$	$7_{-0,11}$	$3_{-0,09}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,13}$
5	$6_{-0,14}$	$7_{-0,14}$	$3_{-0,1}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,14}$
6	$6_{-0,13}$	$7_{-0,13}$	$3_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,1}$
7	$6_{-0,09}$	$7_{-0,09}$	$3_{-0,11}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,11}$
8	$6_{-0,07}$	$7_{-0,07}$	$3_{-0,08}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,12}$
9	$6_{-0,16}$	$7_{-0,16}$	$3_{-0,09}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,14}$
10	$6_{-0,15}$	$7_{-0,15}$	$3_{-0,05}$	$2_{-0,06}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,13}$
11	$6_{-0,08}$	$7_{-0,05}$	$3_{-0,09}$	$2_{-0,09}$	$2_{-0,06}$	$20^{+0,14}$

Задача 6. Расчет схемной надежности технических систем при внезапных отказах

План решения задачи

5. Изучение теоретических положений по лекциям № 19.
6. Ответы на вопросы по теме задачи.

7. Рассмотрение примера и решение типовой задачи по расчету схемной надежности.

Вопросы по теме:

1. Какие исходные данные необходимо иметь для расчета схемной надежности технической системы?

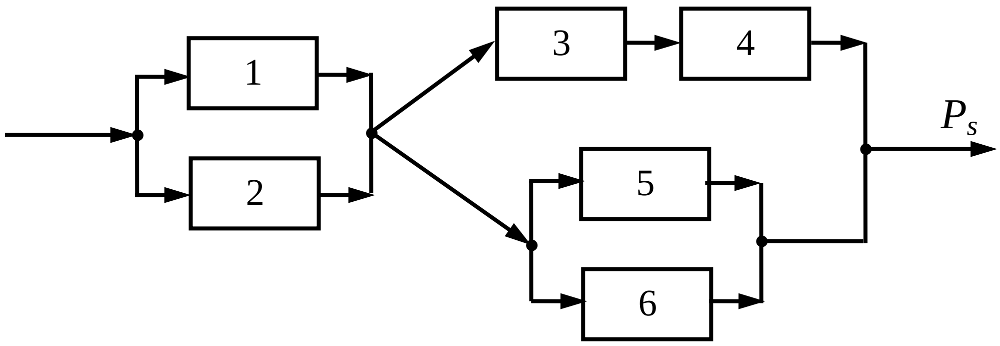
2. По каким правилам составляется схема расчета надежности?

3. Как рассчитывается вероятность безотказной работы при параллельном, последовательном и смешанном включении элементов?

4. Как производится расчет сложных систем?

Рассмотрение шестой типовой задачи

Рассчитать вероятность безотказной работы сложной системы по известной надежности элементов, схема которой представлена на рис.



Вероятности безотказной работы элементов этой системы составляют: p_1=0,95; p_2=0,92; p_3=0,97; p_4=0,96; p_5=0,92; p_6=0,90.

Решение.

Проведем преобразование схемы расчета надежности к более простому виду. Представим параллельно соединенные элементы 1 и 2 в виде одного эквивалентного 1-2, аналогично элементы 5 и 6 в виде эквивалентного 5-6, а последовательно соединенные элементы 3 и 4 в виде одного эквивалентного 3-4.

Определим вероятность безотказной работы эквивалентных звеньев, получим:

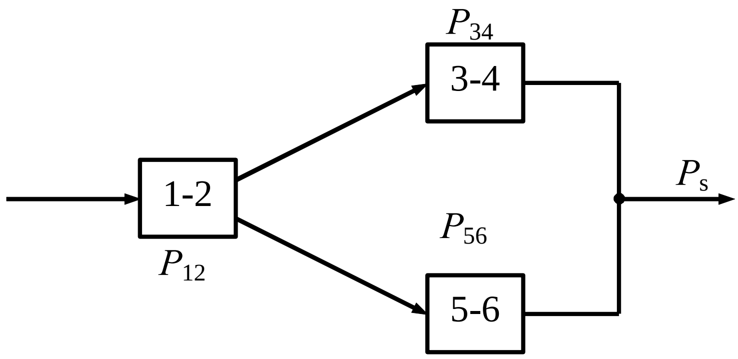
$$P_{12} = 1 - \prod_{i-1}^{2}(1-p_1)(1-p_2) = 1–(1–0,95)(1–0,92)=0,996;$$

$$P_{56} = 1 - \prod_{i-5}^{6}(1-p_5)(1-p_6) = 1–(1–0,92)(1–0,90)=0,992;$$

$$p_{34} = \prod_{i=3}^{4} p_i = p_3\,p_4=0,97\cdot 0,96=0,931$$

Соответственно вероятности отказов составляют: Q_{12}=0,004; Q_{56}=0,008; Q_{34}=0,069.

После преобразования схема расчета надежности имеет вид.



Составим для этой системы таблицу, в которой представим все возможные виды появления отказов.

Число отказавших элементов	События, характеризующие состояние системы	Вероятность появления суммарного события
0	$E_{12} \cap E_{34} \cap E_{56}$	0,92
1	$\overline{E}_{12} \cap E_{34} \cap E_{56}$	0,0037
	$E_{12} \cap \overline{E}_{34} \cap E_{56}$	0,0692
	$E_{12} \cap E_{34} \cap \overline{E}_{56}$	0,0074
2	$\overline{E}_{12} \cap \overline{E}_{34} \cap E_{56}$	0,0003
	$\overline{E}_{12} \cap E_{34} \cap \overline{E}_{56}$	0,00003
	$E_{12} \cap \overline{E}_{34} \cap \overline{E}_{56}$	0,0005
3	$\overline{E}_{12} \cap \overline{E}_{34} \cap \overline{E}_{56}$	0,000002

Отказ функционирования этой системы произойдет если откажет один эквивалентный элемент 1-2 или два эквивалентных элемента 3-4 и 5-6 или откажут все три эквивалентных элемента 1-2, 3-4 и 5-6. Таким образом, вероятность отказа системы определяется суммой вероятностей появления этих событий:

Q_s=0,0037+0,0003+0,000002=0,004

Соответственно вероятность безотказной работы всей системы составляет:

P_s=1–Q_s=1–0,004=0,996.

Задание на решение шестой типовой задачи

Рассчитать вероятность безотказной работы сложной системы по известной надежности элементов:

№	Вероятность безотказной работы элементов

вари-анта	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8
1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,92	0,9	0,8	0,75
2	0,92	0,95	0,88	0,85	0,94	0,98	0,84	0,88
3	0,85	0,8	0,9	0,99	0,97	0,75	0,78	0,82
4	0,86	0,95	0,85	0,92	0,94	0,83	0,86	0,78
5	0,97	0,95	0,85	0,87	0,79	0,77	0,91	0,81
6	0,84	0,89	0,91	0,97	0,93	0,78	0,84	0,89
7	0,99	0,9	0,88	0,8	0,7	0,75	0,75	0,86
8	0,9	0,9	0,87	0,92	0,86	0,78	0,75	0,83
9	0,94	0,96	0,96	0,92	0,8	0,7	0,84	0,77
10	0,78	0,78	0,91	0,82	0,88	0,98	0,96	092
11	0,96	0,92	0,92	0,82	0,76	0,68	0,94	0,8

Схема расчета надежности задается преподавателем.

Задача 7. Расчет надежности технических систем по известным интенсивностям отказов элементов

План решения задачи

8. Изучение теоретических положений по лекции № 18.
9. Ответы на вопросы по теме задачи.
10. Рассмотрение примера и решение типовой задачи по расчету надежности.

Вопросы по теме:

1. Что является исходными данными технических систем при их проектировании?

2. Что понимается под типовым элементом изделия при расчете надежности?

3.Каким образом формируются данные по интенсивности отказов типовых элементов технических систем?

4. Какие основные допущения принимаются при расчете надежности технических систем?

5. Поясните физический смысл показателя интенсивность отказа.

6. Как определяется интенсивность отказов системы при последовательном соединении элементов и при наличии в изделии резервированного участка?

7. Как определить среднюю наработку до отказа и вероятность безотказной работы в течение заданной наработки по интенсивности отказов?

Рассмотрение седьмой типовой задачи

Определить нижнюю границу средней наработки до отказа $T_{ср}$ при доверительной вероятности α = 0,9 электропневмоклапана.

Решение

1. По конструкторской документации (сборочный чертеж электропневмоклапана) выделяются основные элементы изделия, определяющие его работоспособность и составляется структурная схема надежности, которая приведена на рисунке.

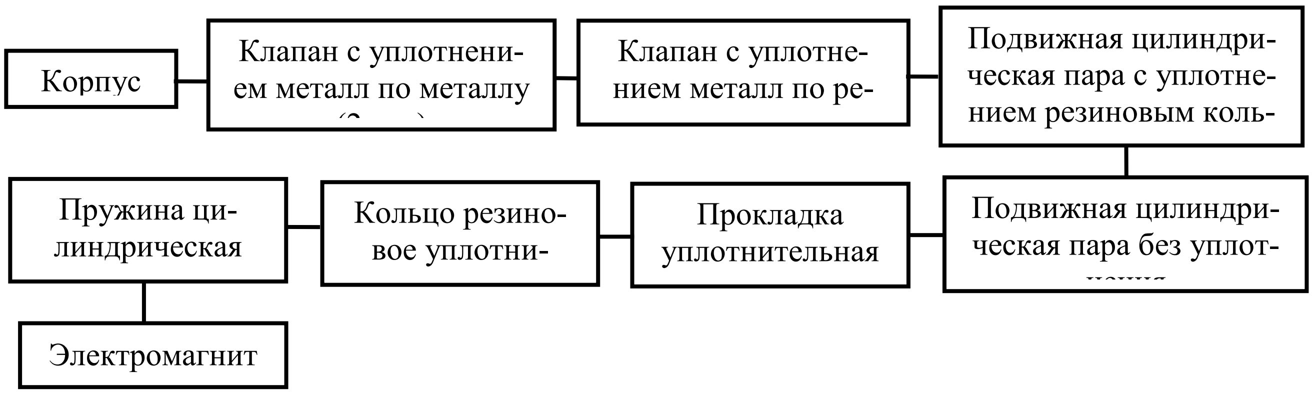


Рис. Структурная схема надежности электропневмоклапана

2. На основе полученной структурной схемы расчета надежности электропневмоклапана и с использованием данных по характеристикам надежности ее элементов составляется расчетная таблица.

Таблица

Расчет интенсивности отказов электропневмоклапана

Размерность λ, $\sigma(\lambda)$ — 1/срабатывание

Наименование элементов	n	$\lambda \cdot 10^{-6}$	$\sigma(\lambda) \cdot 10^{-6}$	$n\lambda \cdot 10^{-6}$	$n\sigma^2(\lambda) \cdot 10^{-12}$
Корпус	1	0,096	0,064	0,096	0,0041
Клапан с уплотнением металл по пластмассе	2	6,794	0,603	13,588	0,7272
Клапан с уплотнением металл по резине	1	1,420	0,278	1,420	0,0773
Подвижная цилиндрическая пара с уплотнением резиновым кольцом	1	0,315	0,127	0,315	0,0161
Подвижная цилиндрическая пара без уплотнения	1	0,474	0,106	0,474	0,0112
Прокладка уплотнительная металлическая	1	0,150	0,084	0,150	0,0071
Кольцо резиновое неподвижное	1	0,077	0,051	0,077	0,0026
Пружина цилиндрическая	2	0,234	0,078	0,468	0,0122
Электромагнит	1	0,553	0,271	0,553	0,0734
Итого	-	-	-	17,141	0,9312

3. Используя данные таблицы определяется интенсивность отказов электропневмоклапана Λ и ее СКО $\sigma(\Lambda)$ по выражениям:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{H} n_i \cdot \lambda_i \quad ,$$

$$\sigma(\Lambda) = \sqrt{\sum_{i=1}^{H} n_i \cdot \sigma^2(\lambda_i)} \quad ,$$

где: H — количество групп однотипных элементов; n_i — количество элементов в i-й группе; λ_i — интенсивность отказов i-го элемента; $\sigma(\lambda_i)$ — СКО интенсивности отказов i-го элемента; Λ — интенсивность отказов изделия; $\sigma(\Lambda)$ — СКО интенсивности отказов изделия.

Подставляя значения интенсивности отказов элементов, получим:

$\Lambda = 17{,}141 \cdot 10^{-6}$ 1/срабатывание;

$\sigma(\Lambda) = \sqrt{0{,}9312 \cdot 10^{-12}} = 0{,}965 \cdot 10^{-6}$ 1/срабатывание.

4. Средняя наработка до отказа электропневмоклапана и ее СКО составляет:

$$T_{CP} = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{17{,}141 \cdot 10^{-6}} = 5{,}38 \cdot 10^{4} \text{ срабатываний;}$$

$$\sigma(T_{CP}) = \frac{1}{\Lambda^2}\sigma(\Lambda) = \frac{0{,}965 \cdot 10^{-6}}{(17{,}141 \cdot 10^{-6})^2} = 3{,}28 \cdot 10^{3} \text{ срабатываний.}$$

5. Нижняя доверительная граница средней наработки до отказа при доверительной вероятности α = 0,9 равна:

$$T_{CP\,H} = T_{CP} - u_\alpha \cdot \sigma(T_{CP}) = 5{,}83 \cdot 10^{4} - 1{,}282 \cdot 3{,}28 \cdot 10^{3} = 5{,}4 \cdot 10^{4} \text{ срабатываний.}$$

где u_α — квантиль нормального распределения для доверительной вероятности α, определяется по таблицам нормального распределения.

При α = 0,9 u_α = 1,282.

Задание на решение седьмой типовой задачи

По сборочному чертежу изделия, техническому описанию и техническим условиям составить структурную схему расчета надежности, выделить типовые элементы конструкции, для которых по справочной литературе найти значения интенсивности отказов и определить среднюю наработку на отказ и вероятность безотказной работы изделия.

Тип изделия и требуемое значение наработки на отказ задается преподавателем.

СОДЕРЖАНИЕ

Задача 1. Определение аналитическим путем коэффициентов чувствительности параметров RC-фильтра

Задача 2. Оценка параметрической точности RC-фильтра методами максимума-минимума и вероятностного суммирования погрешностей

Задача №3. Синтез допусков параметров RC-фильтра методами равных относительных допусков и пропорционального влияния

Задача 4. Определение допусков при селективной сборке методом групповой взаимозаменяемости

Задача 5. Определение допусков на параметры при сборке методом компенсирования погрешностей

Задача 6. Расчет схемной надежности технических систем при внезапных отказах

Задача 7. Расчет надежности технических систем по известным интенсивностям отказов элементов

Правила оформления типовых задач

1. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы по алфавиту.

1. Решенные типовые задачи оформляются каждая отдельно на стандартных листах формата А4.

2. Титульный лист каждой задачи оформляется в соответствии с приложением.

3. В решении задачи обязательно проводятся все исходные данные в соответствии с номером варианта, полностью все расчеты и рисунки, поясняющие полученные решения.

4. В заключении дается анализ полученных решений.

Приложение.
Пример оформления титульного листа типовой задачи

Федеральное агентство по образованию

Российской Федерации

ГОУ ВПО Тульский государственный университет

Кафедра робототехники и автоматизации производства

ТИПОВАЯ ЗАДАЧА №___
по дисциплине
«Параметрическая точность и надежность технических систем»

ВАРИАНТ №___

Выполнил студент гр. _______ Ф.И.О.

Проверил доцент кафедры
РТ и АП Тусюк С.К.

Тула-2006