

Требования к выполнению расчетно-графической работы №2

Перед началом решения РГР необходимо ознакомиться с теоретическим материалом по теме работы, конспектом лекций, а также другим вспомогательным учебным материалом, рекомендованным преподавателем для успешного решения задач.

Каждая задача состоит из условия, изображения исследуемого объекта (расчетной схемы) и исходных данных. Вариант задачи студент получает от преподавателя, ведущего практические занятия.

В ряде случаев исходные данные заданы таблично и для каждого варианта определены индивидуально соответствующей последовательностью цифр – вариант представляет собой трех-пятизначное число от 0 до 9. Для расшифровки варианта каждая его цифра последовательно сопоставляется с пятью буквами русского алфавита, например:

вариант 4 5 6 7 0

буквы А Б В Г Д.

Таким образом, цифра обозначает номер строки в таблице исходных данных, на которой находится заданное значение величины, находящейся в столбце, обозначенном снизу буквами А, Б, В, Г или Д.

Расчетно-графическая работа выполняется в рукописном виде чернилами на листах формата А4 (210x297 мм), сшитых в тетрадь. На первом листе (титульном) обязательно должно быть указано: название ВУЗа, кафедры, номер расчетно-графической работы, номер задачи, номер варианта, Ф.И.О. студента, группа, Ф.И.О., степень и звание преподавателя, место выполнения работы и год. На втором листе работы полностью приводится текст условия задачи с численными данными и изображениями исследуемого объекта. На третьем и последующих листах приводится решение задачи с пояснениями и аргументированием.

На каждом листе расчетно-графической работы должна быть рамка (отступ слева – 20 мм, с других сторон отступ 5 мм). Страницы обязательно должны быть пронумерованы.

Графическая часть работы оформляется карандашом на листах формата А4 (для удобства может быть использована миллиметровая бумага) с соблюдением требований ЕСКД. Допускается выполнение рисунков и схем в программных средах Компас-3D, AutoCAD и т.п. Обязательным условием является точность отрисовки отдельных элементов – высокое качество и четкость изображения.

Для определения допусков и отклонений размеров вала и отверстия необходимо руководствоваться таблицами ЕСДП, справочными данными или данными, заложенными в САПР. Рекомендации для расшифровки посадок с натягом с помощью САД-системы Компас-3D приведены в приложении 1.

Определение значений вероятности безотказной работы по найденному значению квантили определяется по таблице значений, характерной для нормального закона распределения случайной величины (см. приложение 2).

Промежуточные операции с формулами проводятся в буквенном виде, после чего в упрощенные выражения подставляются численные значения переменных и вычисляется конечный результат. Все численные величины должны быть выражены в системе СИ с обязательным указанием размерности.

Расчетно-графическая работа может быть выполнена в электронном виде и представлена к защите в распечатанном виде на листах формата А4.

Задача № 1. Оценка надежности типовых узлов и деталей машин.

Соединения с натягом (Пример решения задачи)

1. Исходные данные:

1.1. Построение расчетной схемы соединения:

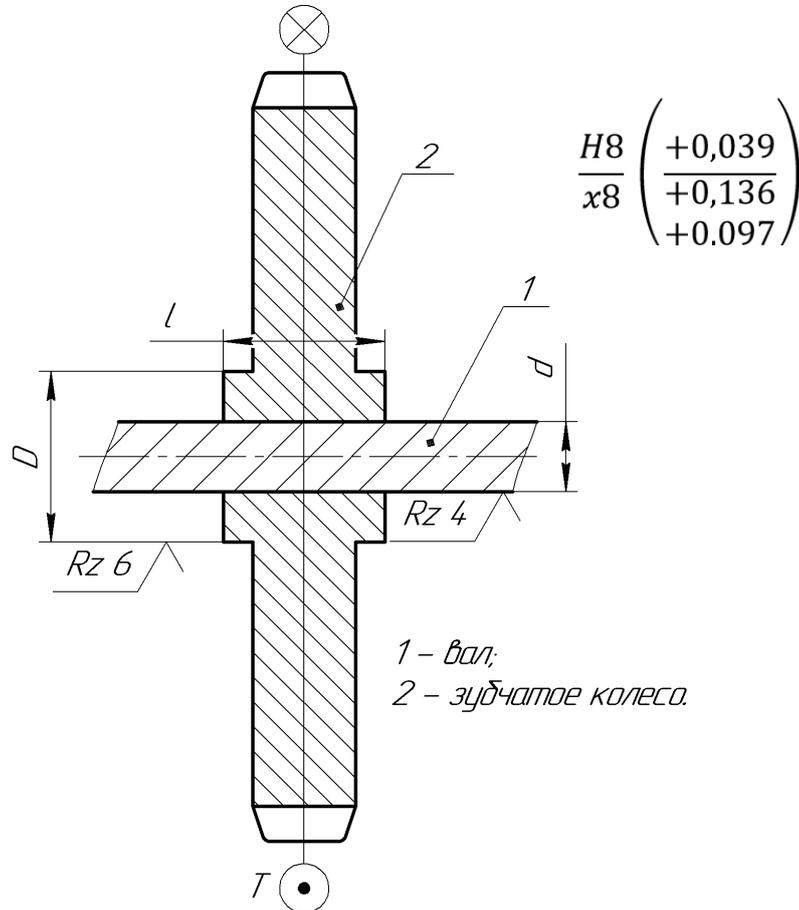


Рис. 1. Расчетная схема соединения с натягом

1.2. Постановка задачи:

Соединение зубчатого колеса со сплошным валом диаметром $d = 48$ мм соответствует посадке $H8/x8$. Соединение нагружено вращающим моментом T , заданным случайной нормально распределенной величиной со средним значением $\bar{T} = 1050$ Н·м и коэффициентом вариации $\vartheta_T = 0,12$.

Определить:

- вероятность безотказной работы соединения с натягом по критерию прочности сцепления, если известно, что диаметр ступицы зубчатого колеса $D = 85$ мм, длина посадочной поверхности $l = 60$ мм, высота микронеровностей посадочных поверхностей $R_{z1} = 4$ мкм, $R_{z2} = 6$ мкм, модуль упругости материала (сталь) деталей $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, среднее значение и коэффициент вариации коэффициента трения соответственно равны $\bar{f} = 0,12$, $\vartheta_f = 0,1$, коэффициент, учитывающий уменьшение со временем давления (сил сцепления в контакте от местных обмятий и частичного снятия сил трения), $K=1,5$.

- вероятность безотказной работы соединения с натягом по критерию прочности охватывающей детали (ступицы колеса). Среднее значение и коэффициент вариации предела текучести материала охватывающей детали равны соответственно $\sigma_{t2} = 580$ МПа и $\vartheta_t = 0,06$.

2. Решение:

2.1. Определение характеристик натяга и давления:

Так как вал и отверстие изготовлены по одному качеству, среднее значение натяга \bar{N} соответствует нижнему отклонению диаметра вала $ei = 97$ мкм ($\bar{N} = ei = 97$ мкм). Учитывая это обстоятельство, допуски вала и отверстия равны (допусков диаметров вала и отверстия $t = t_e = t_E = 39$ мкм). Принимая также, что среднее квадратическое отклонение равно шестой части допуска, коэффициент вариации натяга определится по следующей формуле:

$$\vartheta_N = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{t_E^2 + t_e^2} = \sqrt{2} \cdot \frac{t}{6ei} = 0,236 \cdot \frac{t}{ei} = 0,0948$$

Значения допусков и отклонений размеров выбираются по таблицам допусков для соответствующей посадки.

Поправка на обмятие микронеровностей, мкм:

$$u = 1,2(R_{z1} + R_{z2}) = 1,2(4 + 6) = 12.$$

Коэффициент, учитывающий геометрические соотношения размеров вала и ступицы:

$$\psi = \frac{1 + (d/D)^2}{1 - (d/D)^2} = \frac{1 + (48/85)^2}{1 - (48/85)^2} = 1,936.$$

Среднее значение давления на посадочных поверхностях, МПа:

$$p = \frac{(\bar{N} - u)E \cdot 10^{-3}}{d(1 + \psi)} = \frac{(97 - 12)2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{48(1 + 1,936)} = 126,7.$$

Коэффициент вариации давления p :

$$v_p = v_N \frac{1}{(1 - u/\bar{N})} = 0,0948 \frac{1}{(1 - 12/97)} = 0,108.$$

2.2. Оценка надежности соединения по критерию прочности сцепления:

Среднее значение и коэффициент вариации предельного по прочности сцепления момента:

$$\bar{T}_{lim} = 0,5 \cdot 10^{-3} \pi d^2 \bar{p} \bar{f} \frac{1}{K} = 0,5 \cdot 10^{-3} \pi 48^2 \cdot 60 \cdot 126,7 \cdot 0,12 \frac{1}{1,5} = 2200 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$v_{lim} = \sqrt{v_p^2 + v_f^2} = \sqrt{0,108^2 + 0,1^2} = 0,148.$$

Коэффициент запаса прочности сцепления по средним значениям моментов:

$$\bar{n}_c = \bar{T}_{lim} / \bar{T} = 2200 / 1050 = 2,09.$$

Квантиль нормального распределения:

$$u_p = - \frac{\bar{n}_c - 1}{\sqrt{\bar{n}_c^2 v_{lim}^2 + v_f^2}} = - \frac{2,09 - 1}{\sqrt{2,09^2 \cdot 0,148^2 + 0,12^2}} = -3,285.$$

Вероятность безотказной работы P_c по критерию прочности сцепления, определенная по табл. 1.1 в зависимости от значения u_p , $P_c = 0,9995$.

2.3. Оценка надежности соединения по критерию прочности охватываемой детали (ступицы зубчатого колеса):

Среднее значение и коэффициент вариации эквивалентного напряжения у посадочной поверхности ступицы колеса:

$$\bar{\sigma}_{\text{экв}} = \frac{2\bar{p}}{1 - (d/D)^2} = \frac{2 \cdot 126,7}{1 - (48/85)^2} = 372 \text{ МПа.}$$

$$\nu_{\text{экв}} = \nu_p = 0,108.$$

Коэффициент запаса прочности по средним напряжениям:

$$\bar{n}_n = \bar{\sigma}_t / \bar{\sigma}_{\text{экв}} = 580/372 = 1,56.$$

Квантиль нормального распределения:

$$u_p = -\frac{\bar{n}_n - 1}{\sqrt{\bar{n}_n^2 \nu_t^2 + \nu_{\text{экв}}^2}} = -\frac{1,56 - 1}{\sqrt{1,56^2 \cdot 0,06^2 + 0,108^2}} = -3,92.$$

Вероятность безотказной работы P_n по критерию прочности охватываемой детали, определенная по табл. 1.1 в зависимости от значения u_p , $P_n > 0,9999$.

2.4. Оценка надежности соединения с натягом в комплексе:

Надежность соединения с натягом в комплексе определяется общим значением вероятности безотказной работы:

$$P = P_c \cdot P_n = 0,9994.$$

3. Выводы:

Вероятность безотказной работы по критериям прочности сцепления и охватываемой детали (ведущего колеса) имеет значения 0,9995 и 0,9999 соответственно, что в целом для соединения составляет 0,9994.

Надежность и работоспособность соединения с натягом для заданных конструктивных параметров и режима нагружения обеспечены. Конструкция соединения отработана.

Варианты задач

	T , кН	ν_t	D , мм	d , мм	l , мм	Материал	E , МПа	f	ν_f	Посадка	σ_{t2} , МПа	u
1	1,05	0,1	210	130	91	Алюминий	$0,71 \cdot 10^5$	1,05	0,08	H5/n5	80	0,2
2	0,96		225	140	98					H6/s6		
3	0,81		230	150	105					H5/n5		
4	1,45	0,2	165	75	55	Титан	$1,1 \cdot 10^5$	0,68	0,95	H7/s7	500	0,1
5	2,10		180	85	60					H7/s7		
6	4,60	0,1	195	105	74	Сталь	$2,1 \cdot 10^5$	0,12	0,11	H7/u7	245	0,2
7	5,78		205	115	82					H8/z8		
8	3,52		210	130	91					H8/x8		
9	0,59	0,2	227	145	102	Пластик	$0,02 \cdot 10^5$	0,54	0,125	H7/s7	52	0,1
0	0,45		230	150	105					H8/x8		
	А	Б	В	Г	Д	А		Б		В	А	Б

Для всех вариантов:

$$R_{z1} = 4 \text{ мкм}, R_{z2} = 6 \text{ мкм}, K = 1,5.$$

Распределение вариантов

№ п/п	Фамилия студента	Номер варианта
1		45311
2		67513
3		78614
4		90812
5		24026
6		35124
7		57328
8		68427
9		79523
10		80623
11		25933
12		36035
13		47138
14		58239
15		56410
16		69339
17		70435
18		81536
19		92647
20		46183
21		15745
22		26843
23		59140
24		71352

Рекомендации для расшифровки посадок с натягом с помощью САД-системы Компас-3D.

1. С помощью панели «Геометрия» необходимо построить любой элемент самой простой конфигурации (отрезок, прямоугольник и т.д.). Размер элемента должен соответствовать диаметру вала из условия задачи.

2. Далее заходим в меню размера (рис. 1). Далее – в подменю «Квалитет».

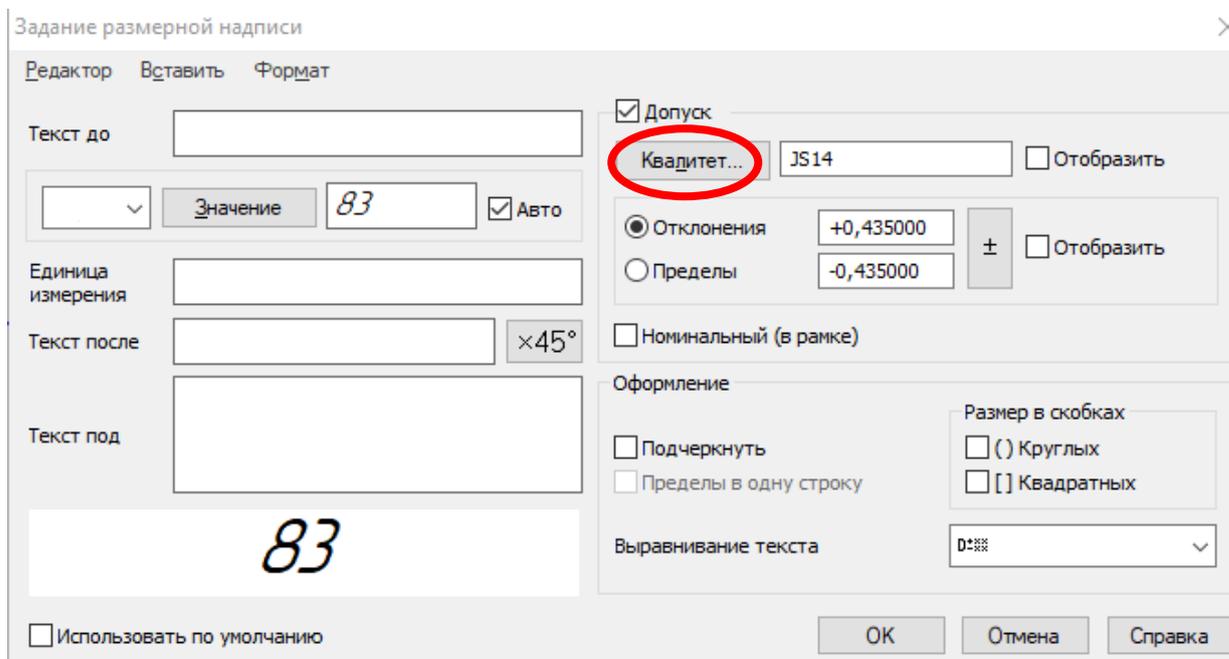


Рис. 1. Меню размера

3. В подменю «Квалитет» приведены различные типы допусков. Выбрав нужный допуск во вкладке «Отклонения» появятся нужные нам значения. Именно эти значения и понадобятся для расчетов в РГР. Так, например, для допуска JS14 отклонения составят +0,435 и -0,435. Следует помнить, что для корректного определения численных значений допусков и отклонений необходимо задать правильное значение диаметра вала, приведенное в исходных данных, а также не забывать, что отклонения определяются для систем «Вала» и «Отверстия».

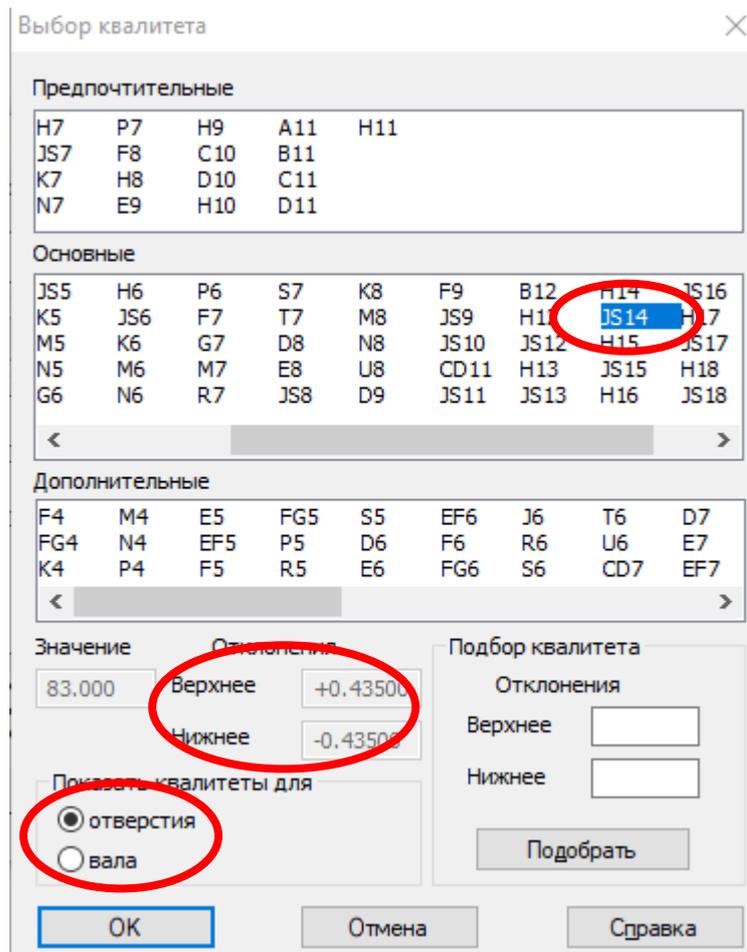


Рис. 2. Подменю размера

Таблица значений, характерная для нормального закона распределения случайной величины.

Таблица 1.1

Нормальное распределение				Распределение Вейбулла				
Квантиль u_p	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Квантиль u_p	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Параметр формы m	$\frac{1}{m}$	b_m	c_m	Коэффициент вариации $v = \frac{c_m}{b_m}$
0,000	0,5000	-2,054	0,98	0,400	2,5	3,32	10,4	3,14
-0,1	0,5398	-2,1	0,9821	0,417	2,4	2,98	8,74	2,93
-0,126	0,55	-2,170	0,985	0,435	2,3	2,68	7,38	2,75
-0,2	0,5793	-2,2	0,9861	0,455	2,2	2,42	6,22	2,57
-0,253	0,60	-2,3	0,9893	0,476	2,1	2,20	5,27	2,40
-0,3	0,6179	-2,326	0,99	0,500	2,0	2,00	4,47	2,24
-0,385	0,65	-2,4	0,9918	0,526	1,9	1,83	3,81	2,08
-0,4	0,6554	-2,409	0,992	0,556	1,8	1,68	3,26	1,94
-0,5	0,6915	-2,5	0,9938	0,588	1,7	1,54	2,78	1,80
-0,524	0,70	-2,576	0,995	0,625	1,6	1,43	2,39	1,67
-0,6	0,7257	-2,6	0,9953	0,667	1,5	1,33	2,06	1,55
-0,674	0,75	-2,652	0,996	0,714	1,4	1,24	1,78	1,43
-0,7	0,7580	-2,7	0,9965	0,769	1,3	1,17	1,54	1,32
-0,8	0,7881	-2,748	0,997	0,833	1,2	1,10	1,33	1,21
-0,842	0,80	-2,8	0,9974	0,909	1,1	1,05	1,15	1,10
-0,9	0,8159	-2,878	0,998	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00
-1,0	0,8413	-2,9	0,9981	1,1	0,909	0,965	0,878	0,910
-1,036	0,85	-3,0	0,9986	1,2	0,833	0,941	0,787	0,837
-1,1	0,8643	-3,090	0,999	1,3	0,769	0,924	0,716	0,775
-1,2	0,8849	-3,291	0,9995	1,4	0,714	0,911	0,659	0,723
-1,282	0,90	-3,5	0,9998	1,5	0,667	0,903	0,615	0,681
-1,3	0,9032	-3,719	0,9999	1,6	0,625	0,897	0,574	0,640
-1,4	0,9192			1,7	0,588	0,892	0,540	0,605
-1,5	0,9332			1,8	0,556	0,889	0,512	0,575
-1,6	0,9452			1,9	0,526	0,887	0,485	0,547
-1,645	0,95			2,0	0,500	0,886	0,463	0,523
-1,7	0,9554			2,1	0,476	0,886	0,439	0,496
-1,751	0,96			2,2	0,455	0,886	0,425	0,480
-1,8	0,9641			2,3	0,435	0,886	0,409	0,461
-1,881	0,97			2,4	0,417	0,887	0,394	0,444
-2,0	0,9772			2,5	0,400	0,887	0,380	0,428