

**ВВЕДЕНИЕ**

В введении в табличной форме для студентов, выполняющих курсовую работу, указываются даты выдачи задания и защиты, номер индивидуального задания, варианты числовых данных; указан срок сдачи выполненного задания на проверку. К каждой задаче приведены таблицы с числовыми данными, соответствующими предложенной задаче.

Группа	Фамилия студента	Дата выдачи задания	Дата защиты
ТФ-____	_____	_____	_____

Задание № _____	Вариант числовых данных _____
Подпись преподавателя группы _____	

Срок сдачи курсовой работы \_\_\_\_\_

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

---

**РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Курсовая работа  
по курсу «Прикладная физика» 4 семестр

Студент  
ТФ-09-19

Иванов И.И

Преподаватель

Москва

2020

## УКАЗАНИЯ

### по выполнению и оформлению расчетного задания

1. Отчет о выполненном курсовой работы оформляется на листах формата А4 (ГОСТ 7.32-81. Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления) с обложкой из плотной бумаги. Образец оформления приведен на кафедральном стенде. Страницы нумеруются.

2. Текст пишется четко и аккуратно **на одной стороне листа** с размерами полей не менее: левое – 30 , правое – 15 мм. Текстовая часть должна содержать последовательное изложение теоретических положений и решения задач. Все обозначения должны совпадать с принятыми на лекциях или должны быть объяснены. Не допускается приведение формул и вычислений без текстового комментария.

3. Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы, графики) выполняют на отдельных листах бумаги форматом А4 чертежными инструментами с соблюдением масштабов.

4. Основные формулы в тексте, таблицы и графики необходимо пронумеровать. Рекомендуется применение двойной нумерации, например: формула 1.2, табл. 3.4, рис. 4.5 и т.д.

5. Решение задач и оформление отчета рекомендуется проводить с использованием систем научных и инженерных расчетов типа MathCAD, MATLAB, Mathematica с обязательной распечаткой программ и (или) рабочих листов, содержащих исходные числовые данные, алгоритмы вычислений и необходимый графический материал.

6. При использовании учебников, пособий, ГОСТов и другой литературы необходима ссылка на источники. В этом случае в конце текстовой части отчета приводится библиографический список.

7. При исправлении проверенного преподавателем расчетного задания **необходимо оставлять замечания, сделанные преподавателем**. Мелкие исправления вносятся непосредственно на странице, где имеются замечания, а крупные – на новых листах, подшиваемых к отчету.

8. Отчет без бланка задания, подписанного преподавателем, а также оформленный с нарушением ГОСТа и настоящих указаний, не принимается.

---

## СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

### 1. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОГО ВАЛА

Для вала, изображенного на схеме, требуется:

1. Построить эпюры крутящего момента  $M_z$ .
2. Из расчета на прочность определить допускаемое значение крутящего момента  $[M_1]$ , при условии  $M_2 = \kappa M_1$ .
3. Для опасного сечения вала при  $M_1 = [M_1]$  построить эпюру касательных напряжений.
4. При внешней нагрузке, равной допускаемой, построить эпюру углов поворота сечений.

*Указания.*

Принять модуль сдвига  $G = 80$  ГПа,

допускаемые касательные напряжения  $100$  МПа.

#### Данные к задаче № 1

№ варианта	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$k$
1	1	0.5	2	10	12	15	1
2	1.5	0.5	1	8	10	15	4
3	1.2	0.6	1	12	20	25	6
4	1.5	0.6	2	12	15	20	3
5	1.5	0.7	2	12	15	20	2
6	0.9	0.7	2	12	25	30	1
7	2	1	1	15	20	30	1
8	2.5	1.5	1	8	14	30	1
9	2	1.2	1	16	25	38	4
10	1.5	1.5	3	16	30	38	3
11	1.5	1.5	3	18	30	40	4
12	0.9	0.9	3	18	35	40	4
13	2	0.5	3	10	20	40	2
14	2.5	0.5	3	10	20	26	2
15	2	0.6	2	10	20	28	3
16	1.5	0.6	2	10	15	20	3
17	1.5	0.7	4	20	28	32	4
18	1.2	0.7	4	20	28	32	4
19	1.5	0.5	2	20	26	36	4
20	1.5	0.5	1	10	22	30	2
21	0.9	1	1	12	24	30	2
22	2	1	1	10	25	34	1
23	1.5	1	1	12	20	36	1
24	1.2	2	4	14	20	30	1
25	1.5	2	4	14	20	28	1

## 2. РАСЧЕТ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ВАЛА РЕДУКТОРА

Вал редуктора передает мощность  $N$ , кВт, при частоте вращения  $n_0$ , об/мин. На валу (посадка  $H7/n6$ ) установлены прямозубые зубчатые колеса диаметром  $D_1$  и  $D_2$ , шириной  $b_1 = 0,1d$  и  $b_2 = 0,2d$ .

### 1. Расчет диаметра вала

- 1.1. Составить расчетную схему и определить приложенные к валу нагрузки.
- 1.2. Построить эпюру крутящего момента  $M_z$ .
- 1.3. Построить эпюры изгибающих моментов  $M_x$ ,  $M_y$ .
- 1.4. Определить диаметр вала  $d$  из условия прочности (расчет на статическую прочность).
- 1.5. Выполнить проверочный расчет вала с учетом циклического изменения напряжений (расчет на сопротивление усталости; ГОСТ 25.504-82).

*Указания:* а) при изготовлении вала используются заготовки в виде проката или поковок из углеродистых или легированных сталей.

Материал вала и качество обработки его поверхности ( $K_{F\sigma} = 0,80 - 0,96$ ) выбрать самостоятельно;

Марка стали	Механические характеристики, МПа			
	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\tau_T$	$\sigma_{-1}$
Сталь35	520	280	150	220
40ХН	820	650	390	360
12ХН3А	950	700	490	420
20Х13	1000	800	560	450

б) нормативный коэффициент запаса прочности  $[n]$  выбрать в пределах 2,0 – 2,5. Полученный при расчете диаметр вала округлить до ближайшего большего размера (ГОСТ допускает значения  $d = 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 100$  мм);

в) фактический коэффициент запаса прочности должен находиться в пределах  $n = 1,4 - 1,7$ . Если это условие не выполняется, необходимо изменить диаметр вала и повторить проверочный расчет;

г) в местах посадки зубчатых колес на вал, учесть влияние шпоночных канавок на концентрацию напряжений. Значение эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_\sigma$  выбрать в зависимости от  $\sigma_B$  материала вала.

Посадка	$K_\sigma$ , при $\sigma_B$ , МПа						
	400	500	600	700	800	900	1000
$H7/n6$	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7

Коэффициент масштабного эффекта  $K_{d\sigma}$  для валов с концентраторами выбрать в зависимости от диаметра вала  $d$ , определенного в п.1.4.

$d$ , мм	$K_{d\sigma}$	
	сталь углеродистая	сталь легированная
20	0,88	0,81
30	0,86	0,70
40	0,80	0,65
60	0,72	0,56
100	0,60	0,42

**Данные к задаче № 1**

№ варианта	$N$ , кВт	$n_0$ , об/мин	$D_1$ , м	$D_2$ , м	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$a_1$ , м	$a_2$ , м	марка стали
1	10	750	0.2	0.4	0.5	0.7	0.35	0.4	35
2	5	1000	0.2	0.4	0.55	0.75	0.4	0.4	40XH
3	15	500	0.25	0.35	0.6	0.8	0.4	0.35	35
4	7,5	300	0.25	0.2	0.65	0.85	0.35	0.2	35
5	12,5	350	0.3	0.4	0.7	0.5	0.2	0.3	40XH
6	10	400	0.3	0.4	0.75	0.55	0.2	0.3	40XH
7	5	700	0.35	0.35	0.8	0.6	0.25	0.35	35
8	15	400	0.4	0.2	0.85	0.65	0.25	0.4	40XH
9	7,5	250	0.4	0.4	0.5	0.7	0.3	0.3	35
10	12,5	200	0.35	0.4	0.55	0.75	0.3	0.3	35
11	20	750	0.2	0.35	0.6	0.8	0.35	0.35	40XH
12	18	400	0.2	0.2	0.65	0.85	0.4	0.4	40XH
13	10	650	0.25	0.3	0.7	0.5	0.4	0.35	35
14	12	700	0.25	0.3	0.75	0.55	0.4	0.4	40XH
15	14	400	0.3	0.35	0.8	0.65	0.35	0.4	35
16	10	250	0.3	0.4	0.85	0.7	0.2	0.4	35
17	5	200	0.35	0.3	0.5	0.75	0.35	0.35	40XH
18	15	750	0.4	0.3	0.55	0.8	0.4	0.2	40XH
19	7,5	1000	0.4	0.35	0.65	0.5	0.3	0.3	35
20	12,5	500	0.4	0.4	0.7	0.55	0.3	0.3	35
21	12	300	0.35	0.35	0.75	0.6	0.35	0.35	35
22	14	350	0.2	0.4	0.8	0.65	0.4	0.4	35
23	2.0	700	0.2	0.4	0.7	0.7	0.35	0.4	40XH
24	1.8	400	0.4	0.35	0.75	0.75	0.4	0.4	40XH
25	3.0	250	1.3	0.4	0.8	0.8	0.3	0.4	40XH

### 3. Расчет трубопровода питательной воды

В качестве расчетной схемы трубопровода принять закрытый толстостенный цилиндр, находящийся под действием давления ( $p_1$  и/или  $p_2$ ) и стационарного осесимметричного температурного поля

$$T(r) = T_2 + (T_1 - T_2) \frac{\ln\left(\frac{r}{r_2}\right)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)},$$

где  $r_1$ ,  $r_2$  – внутренний и наружный радиусы цилиндра,

$$T_1 = T(r_1), \quad T_2 = T(r_2).$$

3.1. Построить эпюры напряжений  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$  и  $\sigma_z$ , возникающих в цилиндре при действии заданного давления.

3.2. Построить эпюры напряжений  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$ , возникающих вследствие температурного воздействия.

3.3. Построить эпюры суммарных напряжений и проверить прочность.

#### Данные к задаче № 3

№ варианта	$r_1$ , см	$r_2$ , см	$p_1$ , МПа	$p_2$ , МПа	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C
1	16	20	7	1	150	100
2	17	21	9	1	160	100
3	18	23	11	1	170	100
4	19	23	13	1	180	100
5	20	26	8	1	190	100
6	15	21	10	2	200	120
7	19	23	12	2	150	120
8	18	25	7	2	160	120
9	17	23	9	2	170	120
10	16	21	11	3	180	120
11	16	21	13	2	190	120
12	17	24	8	3	200	130
13	18	25	10	3	150	130
14	19	23	12	3	160	130
15	18	21	7	2	170	130
16	15	21	9	1	180	140
17	19	23	11	2	190	140
18	18	25	13	1	200	140
19	17	23	8	2	150	140
20	16	22	10	3	160	150
21	16	20	12	2	170	150
22	17	23	7	3	180	150
23	19	25	9	1	190	150
24	19	25	11	1	200	160
25	20	25	13	2	150	100

#### 4. Расчет трубной доски

В качестве расчетной схемы принимается круговая (кольцевая) пластина постоянной толщины  $h$ , находящаяся под действием заданной внешней нагрузки.

4.1. Получить выражения для радиального  $M_r$  и окружного  $M_\theta$  изгибающих моментов и построить соответствующие эпюры (относительно параметра внешней нагрузки).

4.2. Определить допустимое значение внешней нагрузки. Построить эпюру прогибов пластинки при нагрузке, равной ее допустимому значению.

Данные к задаче № 4

№ варианта	$r_1$ , м	$r_2$ , м	$h$ , м
1	0.25	1.1	0.10
2	0.20	1.2	0.12
3	0.30	1.3	0.14
4	0.40	1.0	0.08
5	0.30	1.0	0.11
6	0.35	1.0	0.08
7	0.45	1.1	0.08
8	0.30	1.2	0.11
9	0.40	1.3	0.08
10	0.30	1.1	0.10
11	0.35	1.2	0.09
12	0.30	1.3	0.09
13	0.25	1.4	0.08
14	0.20	1.5	0.11
15	0.30	1.4	0.08
16	0.40	1.3	0.10
17	0.30	1.3	0.12
18	0.35	1.2	0.14
19	0.25	1.3	0.08
20	0.20	1.4	0.11
21	0.30	1.5	0.08
22	0.40	1.4	0.10
23	0.25	1.3	0.12
24	0.20	1.3	0.14
25	0.30	1.2	0.08

*Указание.* Материал пластинки - легированная сталь (марку стали выбрать самостоятельно).

При вычислениях принять  $E = 200$  ГПа;  $\mu = 0,3$ ,  $[\sigma] = 240$  МПа. Критерий прочности выбирается самостоятельно.

### 5. Расчет патрубка корпуса подогревателя

В качестве расчетной схемы принимается круговая цилиндрическая оболочка постоянной толщины  $h$ , нагруженная осесимметричной нагрузкой.

5.1. Получить аналитические выражения и построить эпюры внутренних силовых факторов  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N_y$ .

5.2. Определить толщину оболочки  $h$  из условия прочности.

5.3. Построить эпюру нормального прогиба  $w(x)$  для оболочки толщиной  $h$ , найденной в п.5.2.

*Указание.* Вычисления для  $w(x)$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ , и  $N_y$  проводить с шагом  $\Delta x = 0,1\lambda$  ( $0 \leq x \leq 1,5\lambda$ ), где  $\lambda$  - длина полуволны краевого эффекта.

Данные к задаче № 5

№ варианта	$a$ , м	$R$ , м	$\Delta \cdot 10^5$ , м	$p_0$ , МПа	$q \cdot 10^{-6}$ , Н/м
1	0.05	1.00	1	0.7	0.15
2	0.06	0.75	2	0.9	0.15
3	0.07	0.80	3	0.8	0.15
4	0.08	0.85	4	0.75	0.2
5	0.09	0.90	5	0.7	0.25
6	0.10	0.90	6	0.75	0.3
7	0.05	0.95	1	0.85	0.3
8	0.05	0.95	3	0.95	0.2
9	0.05	1.00	5	0.9	0.25
10	0.06	1.00	2	0.6	0.2
11	0.07	1.00	4	0.6	0.25
12	0.08	0.75	5	0.65	0.2
13	0.09	0.80	6	0.7	0.25
14	0.10	0.85	2	0.6	0.2
15	0.05	0.90	4	0.6	0.2
16	0.06	0.90	3	1	0.2
17	0.07	0.95	2	1	0.25
18	0.08	0.95	5	1	0.25
19	0.09	1.00	1	0.85	0.25
20	0.10	1.00	2	0.95	0.15
21	0.05	1.00	3	0.9	0.15
22	0.06	0.75	4	0.6	0.15
23	0.07	0.80	3	0.6	0.25
24	0.06	0.85	3	0.65	0.25
25	0.07	0.90	3	0.85	0.25

## 6. Расчет критических скоростей вращающегося вала

Вал с установленными на нем зубчатыми колесами схематизируется как механическая система с двумя степенями свободы. В качестве обобщенных координат принимаются прогибы  $v_1, v_2$  вала в местах посадки зубчатых колес, определяемые в системе координат, жёстко связанной с валом.

2.1. Вычислить критические угловые скорости вращения вала  $\omega_1, \omega_2$  и соответствующие им критические числа оборотов в минуту  $n_1, n_2$ .

2.2. Найти формы колебаний, соответствующие частотам  $\omega_1, \omega_2$ , проверка ортогональности форм колебаний обязательна.

2.3. Вычислить прогибы  $v_1, v_2$  и наибольшие динамические напряжения, возникающие в вале при заданном рабочем числе оборотов за счет действия центробежных сил.

*Указания:* а) вал предполагается упругим и безынерционным; демпфирование и гироскопические эффекты не учитываются. При определении критических скоростей  $\omega_1, \omega_2$  рассматриваются плоские изгибные колебания вала;

б) принимается, что центры масс колес расположены в одной плоскости. Смещения центров масс от оси вала характеризуются эксцентриситетами  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ;

в) если  $n_1$  или  $n_2$  отличаются от  $n_0$  менее, чем на 30%, то необходимо дать рекомендации по изменению конструктивных параметров рассматриваемой системы.

## Данные к задаче № 6

№ варианта	Ширина колес, мм		Эксцентриситеты, мм	
	$h_1$	$h_2$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$
1	10	30	3	1
2	20	40	2.5	2
3	30	40	2.5	3
4	40	30	2	2.5
5	50	30	1.5	1.5
6	10	30	1.5	1
7	40	40	1	2
8	30	40	3	1
9	20	30	2.5	2
10	20	30	2.5	3
11	20	10	2	2.5
12	15	20	1.5	1.5
13	10	30	1.5	1
14	15	40	1	2
15	15	50	3	1
16	10	10	2.5	2
17	25	40	2.5	3
18	15	30	2	2.5
19	25	20	1.5	1.5
20	30	20	1.5	1
21	40	20	1	2
22	40	15	0.2	0.4
23	30	10	0.2	4.0
24	30	20	0.4	6.0
25	30	30	1.3	7.8

**Библиографический список**

1. **Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П.** Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 2000. – 560 с.
  2. **Воронцов А.Н., Трифонов О.В.** Вычислительные методы в механике материалов и конструкций. М.: Издательство МЭИ, 2001. – 80 с.
  3. **ГОСТ 25.504 – 82.** Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. М.: Издательство стандартов, 1982. – 82 с.
  4. **Ицкович Г.М., Минин Л.С. Винокуров А.И.,** Руководство к решению задач по сопротивлению материалов. М.: Высшая школа, 1999. – 592 с.
  5. **Нормы** расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Энергоатомиздат, 1989. – 529 с.
  6. **Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П.** Механика материалов и конструкций. М.: Машиностроение, 1-е изд. 2001. 408 с., 2-е изд. 2002. – 436 с.
  7. **Окопный Ю.А., Радин В.П., Хроматов В.Е., Чирков В.П.** Механика материалов и конструкций: Сборник задач. М.: Машиностроение, 2004. 414 с.
  8. **Радин В. П., Стрельникова Н. Л.** Решение задач механики материалов и конструкций в системе MathCAD. М.: Издательство МЭИ, 2000. – 64 с.
  9. **Сопротивление материалов** /Под ред. Г.С. Писаренко. Киев : Вища школа, 1986 . – 775 с.
-